

TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI

Fakulta strojní

Studijní program M2301 – Strojní inženýrství

Strojírenská technologie
zaměření tváření kovů a plastů

Katedra strojírenské technologie
Oddělení tváření kovů a plastů

NÁVRH LISOVACÍ FORMY PRO VÝROBU SVÍCNU PAGODA

Project of pressing moulds for production candlestick PAGODA

David Bašta

KSP - TP - 787

Vedoucí diplomové práce: Ing. Pavel Solfronk, Ph. D. - *TU v Liberci*

Konzultant diplomové práce: Ing. Michaela Kolnerová, Ph.D. - *TU v Liberci*

Rozsah práce a příloh:

Počet stran	76
Počet tabulek	5
Počet obrázků	31

Počet příloh	13
---------------------	----

Datum: 25.5.2007

ANOTACE

TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI

Fakulta strojní

Katedra strojírenské technologie

Oddělení tváření kovů a plastů

Studijní program: M2301 – Strojní inženýrství

Diplomant: David Bašta

Téma práce: Návrh lisovací formy pro výrobu svícnu Pagoda
Project of pressing moulds for production candlestick
PAGODA

Číslo DP: KSP - TP - 787

Vedoucí DP: Ing. Pavel Solfronk, Ph. D. - *TU v Liberci*

Konzultant: Ing. Michaela Kolnerová, Ph.D. - *TU v Liberci*

Abstrakt:

Diplomová práce se zabývá hodnocením účinnosti temperačního systému v závislosti na konstrukci formy. V teoretické části je uveden popis technologie dávkování a lisování skloviny a rozdělení tvarovacích nástrojů. Dále je vysvětlena problematika teplotních polí včetně jejich řešení a zmíněny jsou způsoby dotykového a bezdotykového principu měření teplot. Dále je uveden technologický nedostatek v konstrukci formy a následný zásah pro jeho odstranění. Závěrem je prezentováno měření formy termovizí.

Abstract:

Thesis deal with evaluation come into operation temper system depending on construction of mould. In theoretic part is state description technology dosage and pressing molten glass and partition forming tools. And next is explained dilemma of thermal fields including theirs solution and forenamed are means tangent and contactless principle temperature measuring. Further is state technological poverty in construction of mould and resulting hit for his remove. Is present metering of mould with „termovize“ in the end.

Místopřísežné prohlášení:

Místopřísežně prohlašuji, že jsem diplomovou práci vypracoval samostatně s použitím uvedené literatury.

V Liberci, 25. května 2007

David Bašta
Sklářská 762
Světlá nad Sázavou 582 91

Poděkování:

Velice děkuji všem členům KSP z oddělení tváření kovů a plastů jmenovitě doc. Dr. Ing. Petru Lenfeldovi, jakožto vedoucímu katedry za vytvoření podmínek k realizaci této diplomové práce.

Zvláštní poděkování věnuji Ing. Pavlu Solfronkovi Ph.D. za pečlivý dohled na zpracování diplomové práce a vyčerpávající čas, strávený řešením problematiky tohoto tématu.

Nesmím také opomenout poděkovat všem ostatním, kteří mě nepřímo podporovali po celou dobu tvorby mé diplomové práce.

OBSAH

1	ÚVOD	8
1.1	Firma SKLO BOHEMIA a.s.	8
2	TEORETICKÁ ČÁST	11
2.1	Technologie lisování	11
2.2.	Dávkování taveniny.....	11
2.3.	Lisovací formy.....	13
2.3.1	Charakteristika částí forem.....	14
2.4	Popis a možnosti měření teplot a teplotních polí	15
2.4.1	Počáteční a okrajové podmínky.....	16
2.4.2	Přehled možných řešení teplotních polí	18
2.5	Teplotní snímače	21
2.5.1	Teplotní snímače dotykové.....	21
2.5.1.1	Dilatační teploměry	21
2.5.1.2	Elektrické teploměry	23
2.5.2	Bezdotykové snímání teplot	25
3	EXPERIMENTÁLNÍ ČÁST	31
3.1	Charakteristika řešeného výrobku	31
3.2	Svícen PAGODA 180.....	32
3.3	Předvýrobní proces	33
3.4	Návrh formy	35
3.4.1	Konstrukce formy	35
3.4.2	Technologický problém při výrobě a jeho odstranění.....	36
3.5	Charakteristika materiálu výrobku	39
3.6	Lisovací stroj NOVA.....	40

3.7 Technologický proces tvarování	42
4 MĚŘENÍ TEPLOTNÍCH POLÍ TERMORIZNÍM PŘÍSTROJEM	50
4.1 Termovize Thermacam PM 659	50
4.2 Průběh měření	51
4.3 Zpracování výsledků měření	51
5 ZÁVĚR.....	60
6. POUŽITÁ LITERATURA	62
7. Přílohy.....	62

SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK A SYMBOLŮ

T	[°C]	- teplota
$_{grad} T$	[K..m ⁻¹]	- teplotní gradient ve formě
$\frac{\partial T}{\partial t}$	[K..s ⁻¹]	- teplot. Změna v čase
λ		- součinitel teplotní vodivosti
C_u	[J.kg ⁻¹ .K ⁻¹]	- měrná tepl. Kapacita za konst. objemu
q_{zdr}	[W.m ⁻²]	- teplota vnitřních zdrojů
t	[s]	- čas
δ	[°C]	- teplota
ϵ		- emisivita

1. ÚVOD

Nejrozšířenějším způsobem zpracování skloviny je již řadu let technologie strojního lisování do ocelových forem. Z důvodu stále náročnějšího zákazníka jsou v současné době kladeny stále větší nároky na kvalitu a rozměrovou přesnost výrobků dekorativního a užitkového skla. Jedním z hlavních předpokladů dodržení daných požadavků na výrobek je zaručení optimální temperance lisovacích forem a nástrojů, stejně tak, jak je tomu i při lisování/vstřikováním ostatních typů materiálů. Temperance se uskutečňuje využitím temperančního systému prostřednictvím temperančního média voda/vzduch, které je schopno teplo z dutiny formy odvádět a pokud je potřeba, omezením přívodu medií, teplotu v nástroji a formě zvýšit. Odvod tepla z nástroje, respektive formy, by měl probíhat ve všech místech rovnoměrně (stejnou rychlostí), aby byly zajištěny pozitivní vlastnosti výrobku. To lze zajistit kvalitním konstrukčním návrhem temperančního systému.

Diplomová práce je zaměřena na návrh konstrukce formy a měření teplotního pole pro zvýšení efektivnosti lisování.

Diplomová práce je rozdělena do tří hlavních částí. V první, teoretické části, je popsána technologie strojního lisování a konstrukce lisovací formy a nástroje. Podrobně je definován způsob temperance, je vysvětlena problematika teplotních polí, včetně jejich řešení a zmíněny jsou také možné způsoby měření teplot.

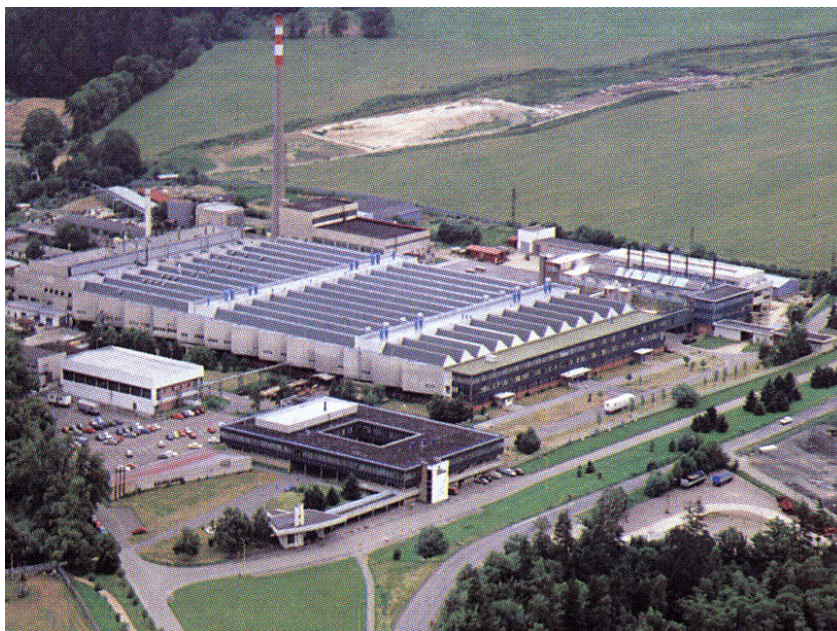
Druhou částí diplomové práce je část experimentální, která bude rozdělena do tří částí. V první části diplomové práce je navržena forma pro lisování svícnu. Ve druhé části bude představena, na základě negativních výsledků při samostatném lisování a provedena, konstrukční změna formy vedoucí k úspěšné výrobě daného sortimentu. Ve třetí části experimentu budou prezentovány snímky již upravené formy ve výrobním procesu lisování. Tyto snímky jsou pořízené termovizní kamerou. Experimentální část bude ukončena vyhodnocením a závěrem, kde bude uvedeno, jaký měl přínos zásah do konstrukce formy na efektivitu výroby.

1.1. Firma SKLO BOHEMIA a.s. /1/

Výroba skla na Světelsku má tradici již několika století, neboť kraj kolem Světlé nad Sázavou nabízel již od pradávna vše co mohla primitivní sklářská výroba potřebovat. Zejména dostatek křemene a dřeva, kterého bylo využíváno k vytápění sklářských pecí a k získávání popela, resp. potaše, která se přidávala do sklářského kmene.

Počátky zušlechťování skla na novém základě se datují rokem 1861, kdy vídeňský obchodník se sklem, Josef Schreiber, založil ve Světlé nad Sázavou první

větší brusírnu. Tato manufaktura byla zásobována sklem z okolních hutí a již po deseti letech zaměstnávala asi 80 lidí.



Obr.1. Firma SKLO BOHEMIA a.s. Světlá nad Sázavou

Společnost Sklo Bohemia a.s. na tuto bohatou tradici navazuje a dále ji rozvíjí. Základní kámen výrobního areálu byl položen v roce 1967 a již za tři roky byl zahájen zkušební provoz hutí. Celá stavba, jejímž investorem byl národní podnik Sklářny Bohemia Poděbrady, byla ukončena v roce 1973.

Zejména po změně společenských poměrů v roce 1989 prodělal závod řadu změn, které 1. ledna 1994 vedly ke vzniku akciové společnosti Sklo Bohemia, a.s.

Současnost podniku

V současné době patří Sklo Bohemia, a.s. mezi přední světové producenty olovnatého křišťálu. Je to moderní, dynamicky se rozvíjející podnik, který zaměstnává 1600 pracovníků.

Výrobní program sklárny zahrnuje stovky druhů domácího a nápojového skla vyráběného ručně i automaticky, lisováním i foukáním, s brusem i bez brusu. Velká pozornost je věnována tradiční ruční výrobě a klasickému broušení, největší dynamika je však dosahována v rozvoji automatických výrob. Firma se snaží pružně reagovat na poslední odbytové trendy v prodeji domácího skla. 80 % veškeré produkce společnosti je určeno pro vývoz do zemí s rozvinutým tržním

hospodářstvím. Nejvíce je realizováno v USA, Velké Británii, Španělsku, Itálii a Japonsku. Export zajišťuje a.s. Bohemia Crystalex Trading.

2. TEORETICKÁ ČÁST

2.1. Technologie lisování

Lisování ve sklářské výrobě je aplikováno při výrobě předmětu převážně z užitkového, technického a optického skla. Proces lisování probíhá v jedné formě a v jedné pracovní operaci. Charakteristika lisovaných výrobků je vymezena typickými podmínkami pro tuto technologii. Dutina výrobku musí být hladká a musí mít takový tvar, aby bylo možno tvárník po dokončení operace vysunout zpět.

2.2. Dávkování taveniny

V dnešní době se pro dávkování taveniny do formy používá výhradně strojní dávkování plně řízené počítačem.

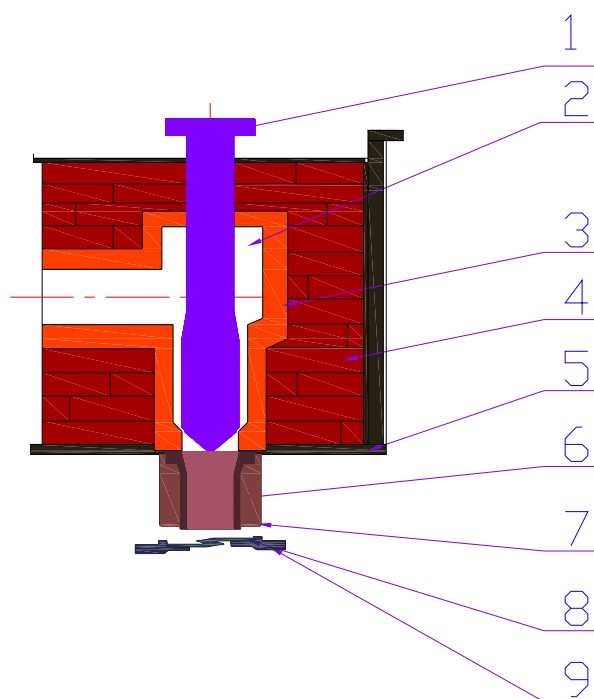
Jedním z používaných dávkovačů je dávkovač typ Lindner. Je určen k úpravě teploty skloviny a pomocí pístu, což je hlavní část dávkovače, k jejímu přesnému nadávkování v podobě kapek do formy při automatické výrobě skla. Je konstruován pro střední a velkosériovou výrobu jak domáckého tak užitkového skla.

Homogenní úpravu a stabilní dodávku skloviny z pece obstarává krytý žlab oválného průřezu tzv. kanál dávkovače skloviny, který je tvořen nosnou ocelovou konstrukcí s keramickou vyzdívkou. Topný systém žlabu dávkovače skloviny obstarává soustava límcových hořáků rovnoměrně rozmístěných po obou stranách žlabu. Límcové hořáky jsou rozděleny do samostatně regulovaných zón.

Elektronické řízení pohonů dávkovacího mechanismu společně s vizualizací v podobě křivky na displeji počítače umožňuje pomocí změn rychlosti, smyslu otáček a pohybu pístu ve vertikálním směru nadávkovat kapku požadované hmotnosti v maximálním taktu 16 kapek/min.

Mechanismus pístu zajišťuje vratný a pravidelný pohyb v požadovaném režimu. Pohyb je odvozen od elektronické vačky pomocí pákového mechanismu a nebo od kuličkového šroubu, který umožňuje plynulou změnu zdvihu pístu. Průběh zdvihu lze měnit elektronicky z řídicího počítače tvarovacího stroje. Pohyb pístu směrem nahoru je nucený a ovládaný přímo vačkou, respektive kuličkovým šroubem. U pohybu dolů je hlavní hnací silou gravitační síla, ale zvýšením otáček šroubu docílíme požadovanou hmotnost a dotvarování kapky.

Žlab je ukončen dávkovací hlavou (obr. 2), nad kterou je umístěn dávkovač. Dávkovací hlavu zakončuje vyhřívaná platinová miska, která se vyrábí v různých průměrech. Platinová miska tvaruje vyústěvanou kapku, která je před dopadem do formy odstřížena strojními nůžkami.



Obr.2 Schéma Dávkovací hlavy

1. Píst 2. Prostor taveniny 3. Keramická vyzdívka 4. Šamotová vyzdívka
5. Ocelová konstrukce 6. Výtoková miska 7. Topení misky 8. Nože nůžek
9. Držák nůžek

Pohyb pákových nůžek je mechanicky řízen elektronickou nůžkovou vačkou. Pohyb ramen do stříhu je zajištěn pneumatickým válcem, který současně působí jako pojistný člen proti přetížení v případě velkého odporu proti stříhu (např. kámen ve sklovině). V okamžiku přerušení dodávky elektrické energie se nůžky pomocí blokovacího pneumatického válce automaticky rozevrou.

Na rameni nůžek s horními noži jsou ramena vychylovače kapky. Vychylovač kapky má za úkol podle potřeby, kdy si to vyžaduje tvar formy, např. když je forma oválného tvaru, kapku po ustřížení vychýlit při dopadu a tím dojde k položení kapky do formy.

Za provozu je možné na mechanismu nůžek seřizovat velikost přestříhu, přítlak mezi noži a výšku roviny stříhu. Okamžik dostříhu nožů je snímán indukčním snímačem a jeho signálu je využito pro synchronizaci tvarovacího stroje

s dávkovačem skloviny. Nože, které při stříhání přijdou do styku se sklovinou, se musejí chladit. K chlazení dochází za provozu přerušovaným proudem vzduchu a chladicí emulze.

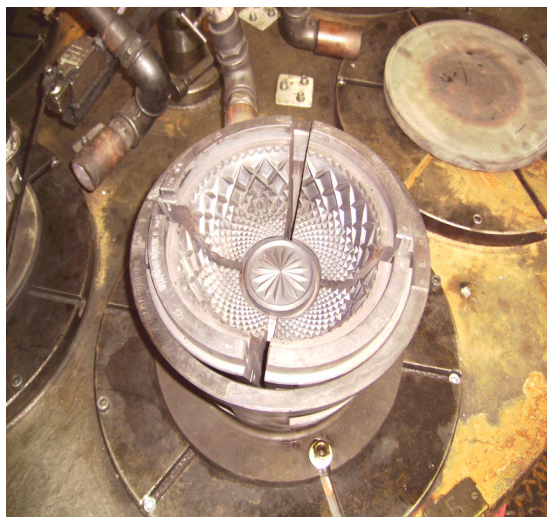
2.3. Lisovací formy /2/

Funkcí lisovacích forem je dát tavenině poté, co je nadávkovaná do formy, konečný tvar vylisku a tento tvar si nadále udržet. V případě skloviny se tak děje po vylisování setrváním a částečným ochlazením výrobku. Poté lze výrobek vyjmout z formy.

Lisovací formy mají za úkol produkovat vylisky o požadovaných rozměrech, zaručovat bezproblémové vyjmutí výrobku z formy a odolávat vysokým tlakům. Z toho je zřejmé, že konstrukce a následná výroba je velmi náročná na odborné znalosti a zkušenosti.

U strojního lisování rozdělujeme formy dle konstrukce do několika základních skupin:

- | | |
|----------------------------------|--|
| 1. dle způsobu otevírání formy: | - pantové otevírání
- košové otevírání |
| 2. dle způsobu vyjímání výrobku: | - vyhazovací
- odnímání |
| 3. dle dělení formy: | - jednodílná
- vícedílná |
| 4. dle typu dělicí roviny: | - osová dělicí rovina
- tvarová dělicí rovina |



Obr.3 Vyhazovací, košová vícedílná forma (mísa Boston 250)



Obr.4 Pantová, dvoudílná forma s rovnou dělicí rovinou (svícen Pagoda 180)

2.3.1. Charakteristika částí forem

Lisovací forma se skládá z několika částí :

Rám formy

Je to část formy, která je v našem případě složena ze dvou totožných půlkruhových celků v zadní části spojených otočným čepem a tvoří tak pantový

plášť. Po vnějších stranách je každý díl opatřen okem pro uchycení pneumatického válce, které pantově zavírají, respektive otevírají formu. Skrz rám mohou být vyvrtány technologické otvory pro vstup chladicího media do prostoru mezi rám formu. Forma je do rámu vsazena a může být podle potřeby skrz technologické otvory přišroubována.

Základová deska

Do základové desky je vložen rám formy a společně s ostatními částmi lisovací formy je připevněn do pozic pracovního stroje.

Dno formy

Je výměnnou částí základové desky. U výrobku formuje přesný tvar spodní části. V případě vyhazovacího způsobu vyjímání výrobku z formy, je otvorem v pracovním stole lisu vedena a zašroubována do dna formy hřídel, na kterou působí v odnímací poloze pneumatický válec. Působením tlakového vzduchu v pneumatickém válci, dojde k nadzvednutí dna a rozevřením dílů formy (obr. 3) je umožněno vyjmutí výrobku.

Kroužek

Slouží po nadávkování k uzavření taveniny ve formě a tvarovému formování horního okraje výrobku. Jako jediná součást lisovací formy je cíleně temperována působením plynového hořáku nebo elektricky vyhřívanou spirálou topení. Kroužek je společně s tvárníkem připevněn na lisovací zařízení stroje. Po vedení kroužku je vždy přitlačen k formě.

Tvárník

Je připevněn na lisovací zařízení stroje, obdobně, jak je tomu u kroužku. Formuje vnitřní tvar výrobku a společně s kroužkem působením tlaku formuje přesně nadávkovanou taveninu ve formě do žádaného tvaru výrobku.

2.4 Popis a možnosti měření teplot a teplotních polí /3, 4, 5 /

Teplotním polem rozumíme množiny teplot v tělese, které jsou v nestacionárním prostorovém poli (obecný případ teplotního pole) určeny nejen souřadnicemi x , y , z , ale jsou závislé také na čase, tedy $T = f(x, y, z, t)$.

Pro dosažení optimální kvality výlisku by bylo ideální, kdyby tavenina v dutině formy byla ochlazována ve všech místech konstantní rychlostí a kdyby teplotní pole bylo homogenní.

Nerovnoměrné rozložení teplot má za následek vznik tepelného toku ve směru klesající teploty:

$$q = -\lambda_F \cdot \text{grad}T$$

kde $\text{grad}T$ – představuje teplotní gradient ve formě $[\text{K} \cdot \text{m}^{-1}]$

Při řešení teplotních polí vycházíme z *Fourierovy diferenciální rovnice sdílení tepla*, kterou je možné zapsat ve tvaru:

$$\rho \cdot c_v \cdot \frac{\partial T(x, y, z, t)}{\partial t} = \lambda_x \frac{\partial^2 T(x, y, z, t)}{\partial x^2} + \lambda_y \frac{\partial^2 T(x, y, z, t)}{\partial y^2} + \lambda_z \frac{\partial^2 T(x, y, z, t)}{\partial z^2} + q_{zdr}$$

V případě homogenního prostředí materiálu formy, je hodnota λ konstantní a výše uvedený vztah lze upravit na výraz:

$$\frac{\partial T}{\partial t} = a \left(\frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial z^2} \right)$$

příčemž
$$\left(\frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial z^2} \right) = \text{grad}^2 T$$

po dosazení lze zjednodušeně napsat:

$$\frac{\partial T}{\partial t} = a \cdot \text{grad}^2 T + \frac{q_{zdr}}{\rho \cdot c_v}$$

kde je:

$\frac{\partial T}{\partial t}$ – představuje teplotní změnu v čase $[\text{K} \cdot \text{s}^{-1}]$, ρ – hustotu $[\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}]$,

λ – součinitel tepelné vodivosti $[\text{W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}]$

c_v – měrnou tepelnou kapacitu za konstantního objemu $[\text{J} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}]$

q_{zdr} – teplo vnitřních zdrojů, odborně disipaci energie $[\text{W} \cdot \text{m}^{-2}]$

2.4.1 Počáteční a okrajové podmínky /3, 4, 5 /

Časově proměnné teplotní pole způsobuje obecně změnu stavu v okamžiku t . Teplota T ke každému pozdějšímu časovému okamžiku $t > 0$ je potom jednoznačně určena, pokud v čase $t = 0$ je záporné teplotní pole.

Např. v pravoúhlém souřadném systému má počáteční podmínka tvar

$$T(x, y, z, 0) = f(x, y, z)$$

Pro všechny pozdější časové okamžiky $t > 0$ musíme diferenciální rovnici vedení tepla doplnit určitým počtem okrajových podmínek, které vyjadřují podmínky přestupu tepla na povrchu tělesa.

Fourierova diferenciální rovnice je diferenciální rovnicí 2. řádu, proto bude počet okrajových podmínek $2 \cdot n$ u n rozměrného teplotního pole.

Okrajové podmínky můžeme zadat čtyřmi způsoby:

- okrajová podmínka *prvního* druhu: rozložení teploty na povrchu tělesa je funkcí času: $T_p(t) = f(t)$

- okrajová podmínka *druhého* druhu: měrný tepelný tok procházející povrchem tělesa je funkcí času: $q_p(t) = f(t)$

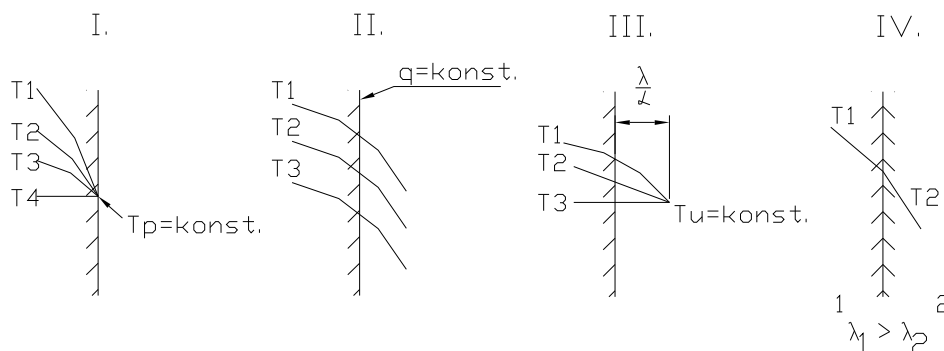
- okrajová podmínka *třetího* druhu: je podmínka rovnosti tepelných toků, kdy tepelný tok procházející povrchovou vrstvou tělesa je totožný s tepelným tokem, který prochází mezní vrstvou okolního (temperančního) média. Matematickým vyjádřením této definice a její úpravou získáme rovnost povrchové teploty s teplotou okolního média:

$$T_p(t) = T_0(t)$$

- okrajová podmínka *čtvrtého* druhu: při dokonalém styku dvou těles je v místě styku teplota těles stejná, stejně jako i tepelný tok proudící mezi povrchovými vrstvami těles v témže místě.

$$T_{1p}(t) = T_{2p}(t)$$

$$\lambda_1 \left[\frac{\partial T_1(t)}{\partial n} \right]_p = \lambda_2 \left[\frac{\partial T_2(t)}{\partial n} \right]_p$$



Obr.5 Grafické znázornění okrajových podmínek

2.4.2. PŘEHLED MOŽNÝCH ŘEŠENÍ TEPLOTNÍHO POLE /3, 5, 6, 7 /

Řešení Fourierovy diferenciální rovnice je obtížné, protože do procesu vstupuje velké množství rozdílných veličin. Jestliže uvažujeme, že např. tepelná vodivost λ je závislá na teplotě T , je třeba zavést do rovnice novou proměnnou a tím se složitost výpočtu neúměrně zvyšuje.

Pro ulehčení se převádí prostorový, neboli trojrozměrný systém, na jednorozměrný či dvourozměrný a ostatní parametry jsou uvažovány nekonečně velké a sdílení tepla je v nich zanedbáno.

Funkci $T = f(x, y, z, t)$ při popisu třírozměrného nestacionárního teplotního pole v tělese daného tvaru, rozměrů a materiálových vlastností, je-li dáno počáteční rozložení teploty a podmínky sdílení tepla na povrchu tělesa, je možno určit trojím způsobem.

Metody řešení jsou tři:

- Analytický způsob
- Numerický způsob
- Experimentální způsob

ANALYTICKÝ ZPŮSOB ŘEŠENÍ

Tento způsob je vhodný pouze pro tělesa jednoduchého tvaru a při vhodně idealizovaném problému. Největší omezení spočívá v tom, že lze řešit pouze případy, u kterých jsou materiálové parametry v rozsahu vyšetřovaných teplot konstantní, nezávislé na teplotě. Pokud není možné zanedbat podřadné vlivy (proměnlivosti materiálových vlastností a provedení výpočtu s jejich středními hodnotami, tepelný tok v určitém směru proti převažujícímu toku, nahrazení složitějšího modelu jednodušším, atd.), potom použijeme raději buď numerickou nebo experimentální metodu řešení.

Mezi způsoby analytických řešení teplotního pole patří metoda separace proměnných a metoda řešení pomocí Laplaceovi transformace. Obě řešení jsou časově velmi náročná, mají nízkou přesnost způsobenou idealizováním a v praxi jsou prakticky nepoužitelná.

NUMERICKÝ ZPŮSOB ŘEŠENÍ

Tento způsob řešení je díky rozvoji počítačové techniky a softwaru stále častěji používán. Metody založené na numerickém získávání hodnot jsou schopny řešit tepelné úlohy v konečném počtu diskrétních (náhodných) míst, jež jsou nazývány uzly, které jsou obsaženy v zavedené diferenční síti konečných prvků v celé oblasti, nebo pouze v její povrchové části. Využívané metody numerického získávání výsledků jsou následující:

- metoda konečných prvků (metoda sítí)
- metoda hraničních prvků
- metoda konečných prvků

Metoda sítí:

Vyšetřovaná oblast se rozdělí na konečný počet prvků (sítí) a pokud v každém z nich nahradíme derivace přibližně konečnými diferencemi, dostaneme místo diferenciálních rovnic rovnice algebraické, platné pro funkční hodnoty v jednotlivých bodech. Pro lepší názornost se tyto body spojují do sítí. V ostatních bodech je nutné definovat hodnoty hledané funkce dodatečně podle zvoleného algoritmu. Metodu sítí lze zobecnit i pro dvourozměrnou nebo i třírozměrnou oblast. Její výhodou je, že nemá-li hranice jednoduchý tvar, musí se diferenční vzorce pro okrajové oblasti zvlášť odvozovat nebo se musí užívat interpolace.

Metoda hraničních prvků:

Při této metodě používáme místo přesného řešení aproximaci a integrál, vyjadřující stav tělesa (deformace, teplota, atd.), který bude nenulový. Okrajové hodnoty hledané funkce, tj. funkce vyjadřující přesné řešení deformace tělesa, dovedeme vypočítat, aniž bychom řešili danou diferenciální rovnici uvnitř definiční oblasti, ale pouze řešením okrajových podmínek při použití znalosti o geometrii oblasti. Aplikujeme-li tuto myšlenku na prostorovou úlohu, získáme hodnoty hledaných funkcí na povrchu tělesa, aniž bychom řešili prostorovou úlohu.

Metoda konečných prvků:

Základním principem této metody je rozdělení dané oblasti na konečný počet jednoduchých prvků, o nichž předpokládáme, že jsou navzájem spojeny v konečném počtu uzlových bodů na hranicích prvků. Skutečný průběh vyšetřované veličiny (teploty, deformace, atd.) uvnitř prvků aproximujeme při řešení zvolenou funkcí, přičemž je nutné, aby tato funkce byla jednoznačně určena hodnotami veličiny v uzlových bodech. Hodnoty veličiny v uzlových bodech jsou pak základní neznámé parametry řešení. Výpočtem těchto parametrů je pak určen průběh veličiny v dané oblasti.

Závěrem je nutno dodat, většina softwaru určených pro řešení teplotních polí používá právě metodu konečných prvků např. Algor, Moldflow, Strimlof apod.

EXPERIMENTÁLNÍ ZPŮSOB ŘEŠENÍ

Tato metoda je založena na možnosti popsat fyzikální jev diferenciální rovnicí, která by byla shodná s diferenciální rovnicí vedení tepla, tzn. že teplotní pole může být simulováno např. prostřednictvím pole elektrického. U tohoto nahrazení odpovídá teplotě elektrický potenciál, tepelné vodivosti pak elektrická vodivost, měrnému tepelnému toku intenzita elektrického proudu apod. Experimentální způsob analýzy teplotního pole je v praxi stále nejužívanější. Pro měření teploty se používají teplotní snímače založené na mnoha principech.

2.5. TEPLOTNÍ SNÍMAČE /3, 5, 6, 7 /

Teplota jako fyzikální veličina je definovaná termodynamicky. Jednotkou teploty T je Kelvin (K), což je 273,16 díl teplotního rozdílu mezi absolutní nulou a teplotou trojného bodu vody. Přepočítání na Celsiovu stupnici je dán vztahem:

$$T(K) = 273,16 + \delta (^{\circ}\text{C})$$

Kde δ je teplota ve stupních Celsia

Při měření teploty δ měříme obecně jinou veličinu A , která je na teplotě závislá podle určitého vztahu $A = f(\delta)$, který jsme schopni vyčíslit. K měření se využívají celé řady funkčních principů. Teploměry se rozdělují na dvě základní skupiny, a to na teploměry dotykové, kdy je snímač v přímém kontaktu s měřeným objektem a na bezdotykové.

2.5.1. TEPLOTNÍ SNÍMAČE DOTYKOVÉ /3, 5, 6, 7 /

2.5.1.1. Dilatační teploměry

Teploměrné přístroje tohoto typu využívají roztažnosti látek ve všech skupenství jako průvodního jevu stoupající teploty.

Teploměry kapalinové

U kapalinových teploměrů je měření založeno na změně objemu kapaliny v závislosti na teplotě. Běžně se používají skleněné teploměry plněné rtutí, xylenem, methanolem aj., přičemž například rtuť lze použít k měření teplot od -30 do 500°C . Pokud je kapalina při změně teploty udržována v konstantním objemu, jedná se pak o teploměry tlakové.

Teploměry plynové

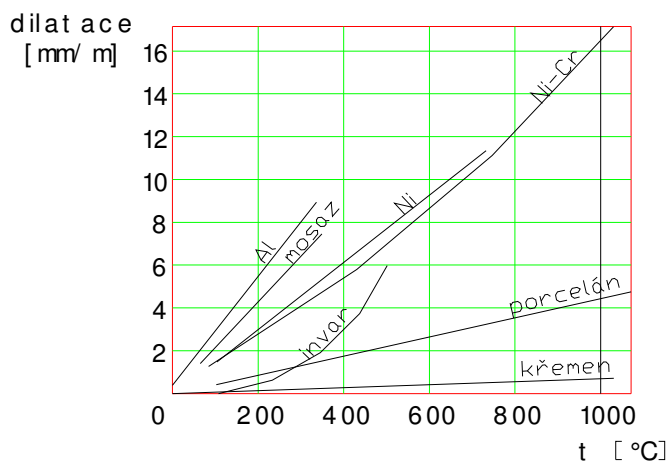
Principem plynových teploměrů je teplotě přímo úměrně se měnící tlak plynu za stálého objemu. Rozsah použití je od -5°C do 500°C . Plnicí tlak bývá větší než 500 kPa, aby se omezil vliv kolísání barometrického tlaku. Používají se teploměry plněné propanem, ethyletherem, toluenem a dalšími plyny.

Teploměry založené na roztažnosti látek pevných

Tyto teploměry využívají dilatačních vlastností tuhých látek při teplotních změnách. Příklad roztažnosti některých používaných materiálů zachycuje obr.6.

Dilatační senzory lze rozdělit na teploměry využívající délkového přírůstku jedné látky, ty nazýváme *tyčovými (monometalickými)*, a na teploměry, u nichž teplotu posuzujeme podle deformace vzniklé nestejnou roztažností obyčejně dvou látek, jež nazýváme *bimetalickými (dvojkovovými)*.

- *Tyčové* teploměry mají citlivý teploměrný element – tyčku nebo trubku – z materiálu (obvyčejně hliníku, mosazi, niklu) o velké teplotní roztažnosti. Při změně teploty měříme změnu délky této tyčky (trubky) a podle ní pak usuzujeme na příslušnou teplotu. Nevýhodou těchto teploměrů je relativně malá změna rozměrů s teplotou a velká délka používaných tyčí.
- *Bimetalické* teploměry používají dvou kovů s rozdílnou teplotní roztažností, jež jsou ve tvaru pásků pevně navzájem spojeny, nejčastěji svařem. Zahříváme-li bimetalický pásek, pak oba kovy tvořící pásek dilatují, ne však stejně, a výsledkem je prohnutí pásku na stranu méně roztažného kovu. Pro zvýšení citlivosti bývá bimetalický pásek stočen do spirály nebo šroubovice. Bimetalových senzorů se nejčastěji využívá pro dvoupolohovou regulaci teploty.



Obr.6 Dilatace různých materiálů v závislosti na teplotě.

2.5.1.2 Elektrické teploměry /3, 5, 6, 7 /

Elektrické teploměry využívají v závislosti na teplotě měnící se elektrické vlastnosti vodičů a polovodičů. Do této skupiny patří teploměry *odporové* a *termoelektrické*.

Teploměry odporové

U odporových teploměrů se využívá teplotní závislosti odporů použitých materiálů, lze je dělit na kovové a polovodičové odporové teploměry.

- V případě kovových odporových teploměrů odpor s rostoucí teplotou stoupá. Pro realizaci odporových teploměrů se používají především čisté kovy jako je platina, nikl a měď. Provedení kovových odporových senzorů je buď drátové, kdy je čidlo senzoru tvořeno spirálově stočeným tenkým drátkem čistého kovu zataveného do keramického nebo skleněného tělíska, nebo plošné, u kterého je meandr z čistého kovu umístěn na plochou korundovou destičku obr.7



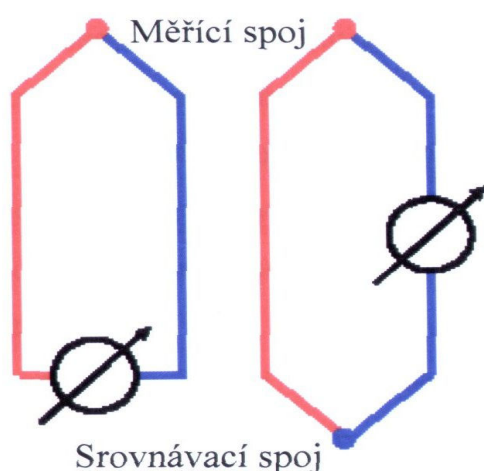
Obr.7 Schéma odporového teploměru drátového (vlevo) a plošného

- Polovodičové odporové teploměry, známé též pod názvem termistory, se v praxi vyskytují jako negistory, u kterých elektrický odpor s rostoucí teplotou klesá, a pozistory, kde naopak roste. Závislost odporu na teplotě je však nelineární a je nutné ji kompenzovat.

Jejich výhodou oproti kovovým odporovým teploměrům je vyšší citlivost, příznivější dynamické vlastnosti. Předností kovových senzorů je vysoká stabilita a přesnost.

Teploměry termoelektrické

Měření teploty pomocí termočlánků je založeno na termoelektrickém Seebeckově jevu, kdy dochází k převodu tepelné energie a na energii elektrickou. Termoelektrický článek je tvořen dvěma vodiči z různých kovových materiálů, které jsou na obou koncích spolu vodivě spojeny. Jestliže je teplota měřicího spoje rozdílná od teploty spoje srovnávacího, pak vzniká termoelektrické napětí a obvodem prochází proud. Pro správnou funkci snímače je nutné, aby teplota



srovnávacího spoje byla konstantní, nebo aby byl vliv termoelektrického napětí tohoto spoje kompenzován. Měřicí obvod termočlánku je možné zapojit tak, že se měřicí přístroj umístí do srovnávacího spoje nebo do jedné větve termočlánku obr.8.

Obr.8 Schéma zapojení termočlánku

Materiál na výrobu termočlánků by měl mít co největší lineární přírůstek termoelektrického napětí s teplotou, termoelektrickou stálost a chemickou odolnost.

Pro usnadnění volby vhodného materiálu byly zavedeny do výroby některé ustálené kombinace termočlánekových materiálů, shrnuté v tabulce 1

Tab. 1: Druhy kombinací termočlánekových materiálů. /20/

Označení a název termočlánku	T měď-měďnikl	J železo- měďnikl	K niklchrom- niklhlíník	S platinarhodium- platina
Použitelnost trvale krátkodobě	(-200 až +400) °C +600 °C	(-200 až +600) °C +900 °C	(-50 až +1000) °C +1300 °C	(0 až +1300) °C +1800 °C
Termoelektrické napětí (mV/100 °C)	4,25	5,37	4,8	0,64

Podle konstrukčního uspořádání se dělí termoelektrické snímače na snímače s ochrannou jímkou, u kterých je termoelektrický článek umístěn v ochranné armatuře zabraňující mechanickému poškození při provozních aplikacích, a plášťové termočlánky s termočláňkovými dráty uloženými v niklové či nerezové trubičce vyplněné práškovým MgO nebo Al_2O_3 . Výhodou plášťových termočláňků je snadné tvarové přizpůsobení a jeho malá tepelná kapacita.

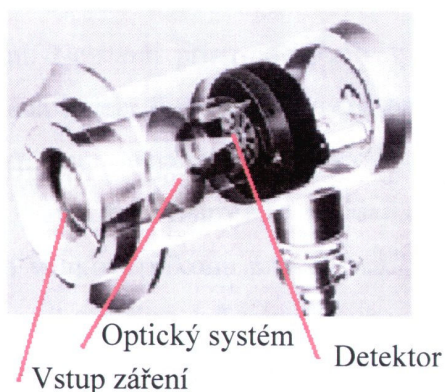
2.5.2 Bezdotykové snímání teplot /3, 5, 6, 7 /

Principem funkce bezdotykových teploměrů je tepelné elektromagnetické záření, které se vyskytuje při teplotním rozdílu mezi měřeným objektem a jeho okolím. Pro bezdotykové měření teplot se používá záření od $0,3 \mu\text{m}$ do $25 \mu\text{m}$, což pokrývá rozsah teplot od -45°C do $10\,000^\circ\text{C}$. Tato skupina teploměrů se používá pro měření teplot na povrchu objektů, při rychlých změnách teplot a měření teplot pohybujících se objektů. Nevýhodami je však stanovování emisivity měřeného objektu, chyby způsobované propustností elektromagnetického záření prostředím mezi objektem a bezdotykovým teploměrem a chyby vzniklé snímáním i odraženého záření z okolního prostředí.

Pyrometry

Pyrometry slouží k bezdotykovému měření teploty v jednom konkrétním místě měřeného povrchu nebo objektu. Teoreticky mohou pyrometry snímat celé spektrum vlnových délek od $\lambda=0$ do $\lambda=\infty$, v praxi však dochází k spektrálnímu omezení vlivem citlivosti čidel a propustnosti optických prvků.

Základní koncepce pyrometru obr.9 se skládá z optické soustavy soustřeďující energii vyzařovanou tělesem a detektoru přeměňujícího energii na elektrický signál.



Optický systém bývá sestaven z čidel nebo zrcadel a soustřeďuje záření do ohniska, v němž je umístěna buď baterie termočláňků (až 30 měřících spojů na ploše 4 mm^2), nebo bolometr (fóliový odporový teploměr), či termistor. Povrch čidla bývá začerněn.

Obr.9 Přenosný pyrometr

Podle citlivosti a principu snímání je možné pyrometry rozdělit na pyrometry širokopásmové, úzkopásmové, poměrové a optické.

- *Širokopásmové* pyrometry jsou nejjednodušší, nejlevnější a mohou pracovat s vlnovými délkami od 0,3 μm až do 20 μm , což je podstatná část tepelného záření vyzařovaného objektem v běžném teplotním rozmezí s přesností 0,5% až 1%.
- *Úzkopásmové* pyrometry, nazývané též jako pyrometry *monochromatické*, používají specifického detektoru určujícího spektrální citlivost snímače a filtru omezujícího odezvu pyrometrem jen na vybranou vlnovou délku. Měřené pásmo je obvykle menší než 1 μm . Například u křemíkového detektoru se jedná o pásmo v rozmezí 0,9 μm až 1 μm .

Úzkopásmové pyrometry pro krátké vlnové délky se používají k měření vysokých teplot nad 500 °C, protože při těchto teplotách se zvyšuje množství energie na krátkých vlnových délkách. Dlouhé vlnové délky se používají pro nízké teploty od -45 °C.

- *Poměrové (dvoubarevné)* radiační teploměry měří energii vyžadovanou objektem na dvou úzkých pásmech vlnových délek a vypočítávají poměr, který je funkcí teploty objektu. Tyto pyrometry eliminují chyby v měření teploty způsobené vlivem změn emisivity a absorbcí záření z okolního prostředí. Některé poměrové pyrometry používají až čtyři spektrální kanály, jejichž analýzou lze získat detailní informace o emisivitě povrchu měřeného objektu v závislosti na vlnové délce, teplotě a chemickém složení povrchu.

Dvoubarevné a vícebarevné pyrometry se využívají v aplikacích, kde je důležitá přesnost měření a kde měřený objekt podstupuje fyzikálním nebo chemickým změnám. Poměrové teploměry pokrývají široké rozmezí teplot od 50 °C až 3700 °C s přesností až 0,5%.

- *Optické pyrometry* měřící radiaci v úzkém pásmu vlnových délek tepelného záření. Nejstarší přístroje používaly principu měření jasů na viditelných vlnových délkách kolem 0,65 μm (červená barva). V dnešní době jsou dostupné přístroje pro měření energie na vlnových délkách přesahujících oblasti až do oblasti infračervené.

Některé přístroje se ovládají ručně. Pozorovatel při snímání měřeného objektu mění velikost příkonu pro žhavení vnitřního vlákna v pyrometru a tím mění barvu žhaveného vlákna, až odpovídá barvě měřeného objektu. Teplota měřeného objektu se odvozuje od příkonu elektrické energie žhavicího vlákna. V jiném uspořádání se udržuje konstantní žhavicí proud vlákna a mění se jas měřeného objektu za pomoci otočné optické clony, která absorbuje energii. Teplota objektu se pak odvozuje od množství energie, které je absorbováno clonou.

U automatických optických pyrometrů citlivých pro měření v infračerveném pásmu dochází k srovnání energie záření vyzařované objektem s energií vyzařovanou vnitřním referenčním zdrojem. Výstupní hodnotou je pak rozdíl těchto energií.

Výhodou je používání optických vodičů, které snadno přivádějí záření k detektoru i ze špatně dostupných míst. Spektrální odezva těchto přístrojů je kolem 2 μm a mohou být použity k měření teplot od 100 $^{\circ}\text{C}$.

Linescannery a termografie

Linescannery a termografie podstatně rozšiřují možnosti bodové radiační termometrie na jednorozměrné profily, nebo dvourozměrné obrazy bezdotykově měřených objektů.

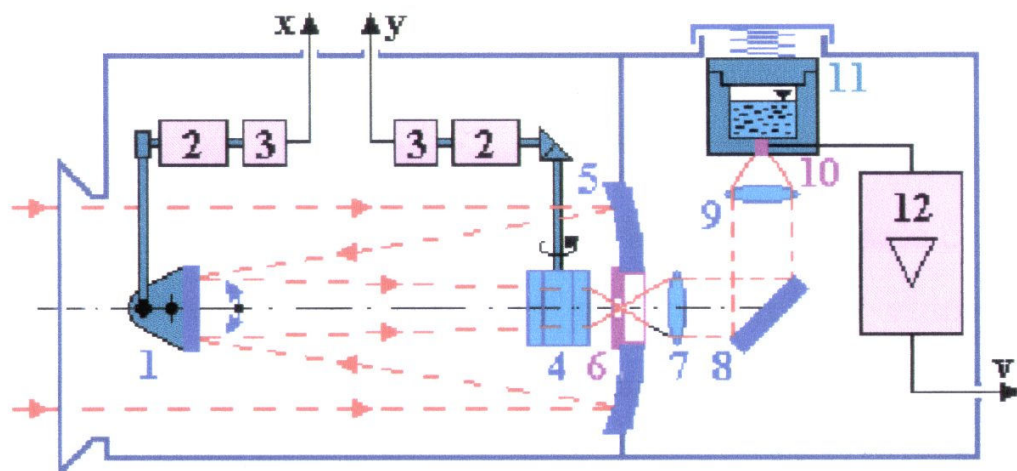
- *Infračervené linescannery* využívají jediného detektoru, který je omezen na měření teploty jen v jednom bodě. Nicméně, rotující zrcadlo zaostřuje jeden trvale se měnící úzký snímaný řez měřeného objektu. Frekvence snímání je až 500 scanů za sekundu. Naměřené hodnoty se většinou následně zpracovávají v digitální podobě.

- *Termografie* slouží k 2D snímání teplot povrchu těles, tedy k snímání teplotních polí. Rozklad obrazu je buď opticko-mechanický, nebo elektronický. Obě metody se liší způsobem snímání obrazu teplotního pole. Vzhledem k podobnosti snímání obrazu u televizní techniky jsou tyto přístroje často označovány jako *termovizní kamery*. Měřicí rozsah termokamer se pohybuje od -30 $^{\circ}\text{C}$ do 1200 $^{\circ}\text{C}$ s rozlišením až 0,2 $^{\circ}\text{C}$.

Při *elektronickém* snímání teplotního pole je tepelné záření emitované zahřátým povrchem soustředěnou optickým systémem na fotokatodu, kde vyvolá emisi elektronů z katody. Proud elektronů, mající intenzitu odpovídající intenzitě záření teplotního pole, je po opuštění katody vychylován magnetickým polem tak, aby následně vyhodnocovací elektronika mohla rozložit celé snímané pole na jednotlivé body.

Opticko-mechanické obr.10 přístroje využívají principu, kdy tepelné záření dopadá na parabolické zrcadlo, od něhož se odráží na ploché zrcadlo, jež je výkyvné kolem vodorovné osy, a tím zajišťuje vertikální rozklad obrazu. Záření odražené od tohoto zrcadla prochází dále přes prizma, které díky rotaci kolem vertikální osy rozkládá obraz horizontálně. Takto rozložené záření pak postupuje přes optický systém a selektivní filtr na polovodičový fotodetektor (indium – antimonid). Synchronizační impulsy obou rozkladů jsou uvedeny spolu s impulsy

fotodetektoru do vyhodnocovací elektroniky, která současně řídí výstup na obrazovku monitoru.



Obr.10 Schéma termovizní kamery (1 rozmítací zrcadlo, 2 motorky, 3 fotoelektrické vysílače, 4 křemenný osmiboký hranol, 5 duté zrcadlo, 6 clona, 7,8,9 optická soustava, 10 kvantový detektor, 11 termoska na kapalný plyn, 12 předzesilovač)

Termovize patří mezi nákladná, ale velmi užitečná zařízení pro měření v technice. Dokáže zviditelnit a zobrazit na monitoru přístroje či počítače teplotní pole celého sledovaného objektu, což umožní lépe sledovat souvislosti pozorovaných jevů, případně zkoumat dynamický vývoj teplotního pole na celém objektu.

Lze ji použít v bezpočtu aplikací. U technologie lisování skloviny se jedná zejména o snímání teplotních polí lisovacích forem a výrobku pro stanovení optimálních technologických parametrů lisovacího cyklu.

Termovize umožňuje měřit bezdotykově teploty povrchů těles na podobných principech jako radiační teploměry z Stefanova – Boltzmannova zákona.

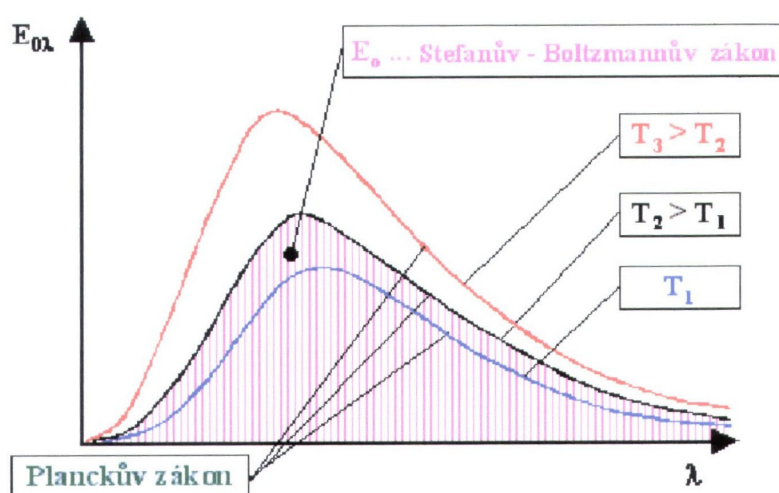
Hustotu zářivého toku v závislosti na teplotě objektu zkoumal rakouský fyzik Boltzmann. Došel k závěru, označovaném dnes jako Stefanův – Boltzmannův zákon, který říká, že:

každé těleso, které má nenulovou absolutní teplotu září, přičemž hustota zářivého toku je úměrná čtvrté mocnině absolutní teploty.

Matematickou formulaci Stefanova – Boltzmannova zákona, lze získat, provedeme-li integraci spektrální hustoty zářivého toku dokonale černého tělesa $E_{o\lambda}$ dle Planckova vyzařovacího zákona a to přes celý rozsah vlnových délek a za konstantní teploty. Pro hustotu zářivého toku dokonale černého tělesa dostaneme

$$E_o = \delta_o T^4$$

kde δ_o je Stefanova – Boltzmanova konstanta, která má hodnotu $\delta_o = 5,6697 \cdot 10^{-8}$ [W.m⁻².K⁻⁴]. Hustotu zářivého toku, dokonale černého tělesa E_o lze zobrazit v diagramu závislosti spektrální hustoty zářivého toku, dokonale černého tělesa $E_{o\lambda}$ na vlnové délce λ , obr. 11, jako plochu pod danou izotermou.



Obr.11 Zobrazení Stefanova – Boltzmannova zákona v diagramu závislosti spektrální hustoty zářivého toku dokonale černého tělesa na vlnové délce záření

Pro nedokonalé zářiče, které se také označují jako šedé povrchy, lze pak hustotu zářivého toku, vyjádřit vztahem

$$E = \varepsilon \cdot \delta_o T^4$$

kde ε je emisivita zářiče. Emisivita, nebo také poměrná zářivost, vyjadřuje schopnost zářiče vyzařovat. Dokonalé zářiče (dokonale černá tělesa) mají $\varepsilon = 1$, nedokonalé zářiče (šedá tělesa), mají $\varepsilon \in (0,1)$ a absolutně nedokonalé zářiče (bílá tělesa), mají $\varepsilon = 0$. Hodnoty emisivit pro různé povrchy, lze nalézt v různých tabulkách.

3. EXPERIMENTÁLNÍ ČÁST

V experimentální části diplomové práce je uveden návrh a výroba prototypové konstrukce lisovací formy pro lisování výrobku svícnu PAGODA. Následně je podrobně rozebrán nedostatek v konstrukci původní formy, který byl zjištěn během zkušebního provozu výroby svícnu. Na základě nedostatků, zjištěných během zkušebního provozu, byla navržena a vyrobena nová lisovací forma. Změnou konstrukce původní prototypové formy byl odstraněn technologický problém, který měl za následek neekonomickou výrobu svícnu Pagoda. Konstruktivní řešení a následná úprava formy, byla prováděna ve firmě SKLO BOHEMIA a.s. K případnému vyhodnocení a optimálnímu nastavení technologických parametrů, při výrobě, bylo provedeno měření snímání teplotních polí na tvarovacích nástrojích a výrobku termovizní kamerou.

3.1. Charakteristika řešeného výrobku

S pronikáním asijských zemí na evropský a zaoceánský trh, nejen ve sklářském oboru, rostou požadavky na kvalitu a jakost vyráběného sklářského sortimentu. Ty nespočívají pouze v konečné kvalitě opracování výrobku manuální zručností sklářských brusičů, kteří několik desetiletí udávali krok a věhlas českého olovnatého křišťálu po celém světě. V dnešní moderní době vévodící strojní výrobě udává konečnou kvalitu vylisovaného výrobku technické zpracování formy, jenž dává výrobku požadovaný tvar. Od formy se neočekává pouze teplotní a tlaková stálost, ale též funkčnost v technologickém výrobním procesu.

Na základě velké konkurence podnik Sklo Bohemia a.s. přistoupil k vyvíjení nové lisovací technologie a to je lisování výrobku se dvěma vnitřními dutinami. Prvním takovým výrobkem je svícen, který má z jedné strany vnitřní dutinu pro umístění svíčky a ze strany opačné otvor po tvárníku, pro použití jako váza na květiny. V případě, že by se jednalo o výrobek, který by se skládal pouze z dutiny pro umístění květin, výroba by nepředstavovala technický problém, znamenalo by to pouze dodržet několik náležitostí. Jednou z nich je tvar tvárníku, který udává tvar vnitřní dutině. Ta musí být vždy taková, aby umožňovala po vylisování a částečném vychlazení výrobku snadné vyjmutí tvárníku. Proto nesmí mít tvárník negativní úhel, to znamená, že stěny tvárníku nesmí svírat úhel menší než 3° .

Stejně tak by tomu bylo i v případě, když by se tvaroval svícen s dutinou pouze pro svíčku.

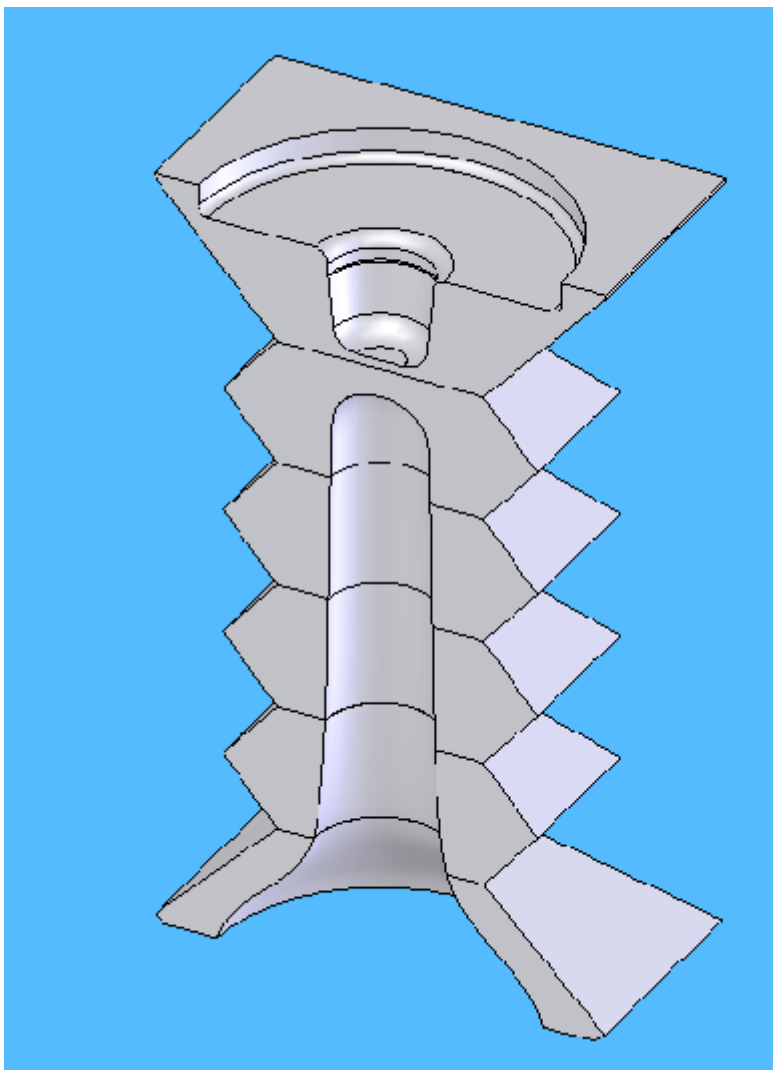
Při návrhu konstrukce formy pro svícen Pagoda 180 obr. 12 budeme vycházet z předpokladu, že výrobek budeme situovat ve formě ve svislé poloze, dutina pro svíčku bude tvarována jádrem, které bude vloženo do dna formy. Vnitřní dutina pro květiny bude tvořena tvárníkem. Jelikož je tvárník pro tvarování vrchní dutiny objemově větší než jádro, dojde při lisování k větší zabíhavosti taveniny do formy.



Obrázek 12 – PAGODA 180

3.2. Svícen PAGODA 180

Vlastní výrobek „vázosvícen“ (dále jen svícen), obchodní název sortiment PAGODA, má být vyráběn ve třech velikostech (obr. 14), tj. velikost 125, 150, 180. Označení velikostí je odvozeno od skutečné výšky výrobku. Z výše uvedených důvodů vyplývající ze složitosti lisování dvojí dutiny se jedná o nový směr výroby ve Sklo Bohemia a.s. V této části diplomové práce bude prezentována výroba a konstrukční úprava formy největšího rozměru, tou je velikost 180.



Obrázek 13 –Řez 3D modelem svícnu PAGODA 180

Profil výrobku je symetrický, čtvercového průřezu, spodní i vrchní část je stejná. V horní základně je zahloubení pro svíčku standardních rozměrů včetně osazení pro zachycení odkapávajícího vosku. Ve spodní části je dutina pro umístění květin v případě opačného situování výrobku. Tělo je tvořeno kaskádami v počtu dvou, tří, respektive čtyř pater, dle velikosti svícnu.

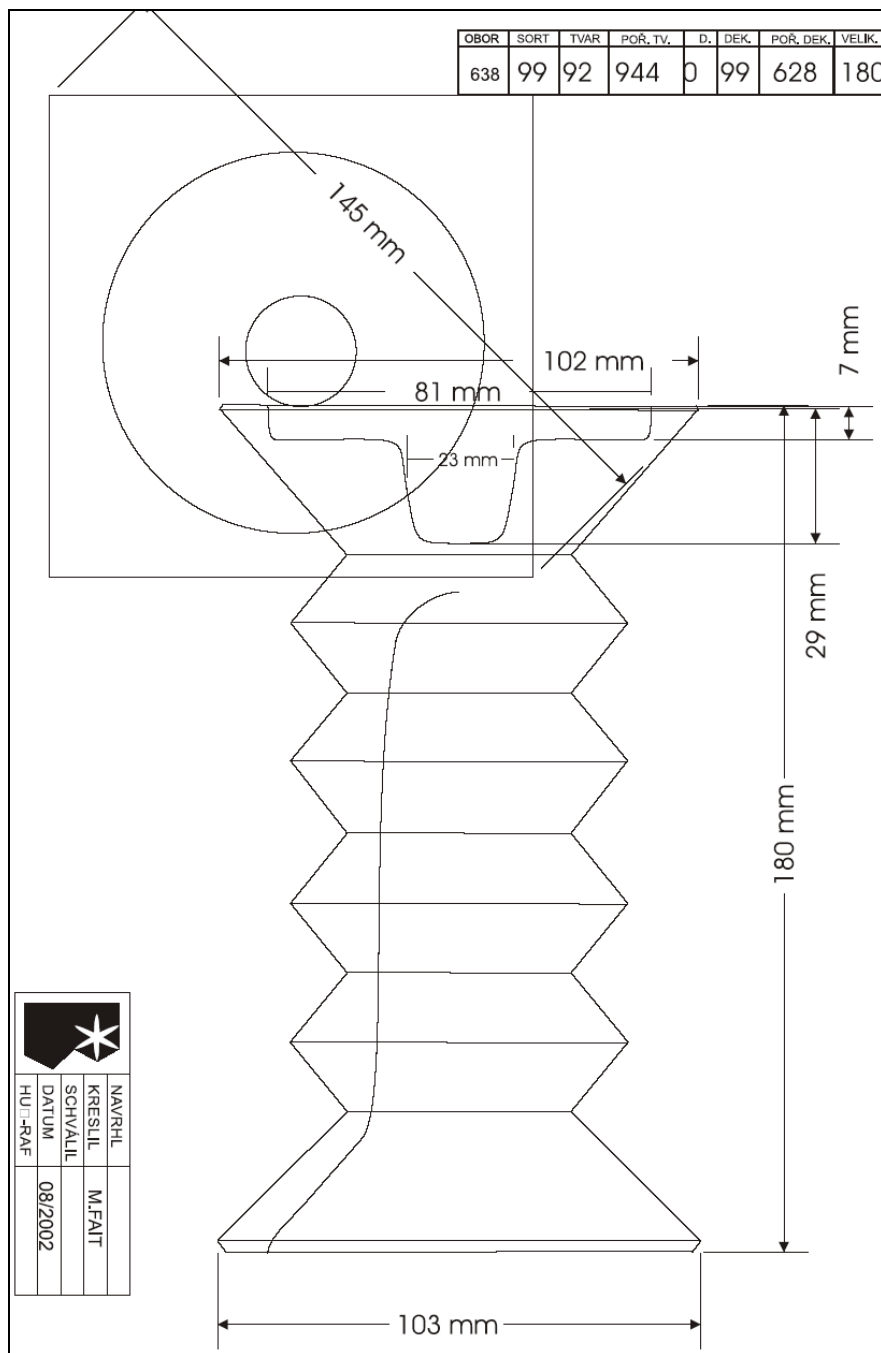


Obr.14 Sortiment PAGODA, velikost 125, 150, 180

3.3. Předvýrobní proces

Do předvýrobního procesu bychom mohli zařadit veškeré okolnosti týkající se výrobku během cesty od zákazníka po konečnou fázi výroby.

Předvýrobní proces začíná již tehdy, kdy dá zákazník požadavek obchodníkovi podniku na výrobu sortimentu. Během vzájemné komunikace se dohodnou na předběžné podobě výrobky. Dle jejich ujednání dá počáteční podobu výrobku designer, který společně se skicou (obr. 15) a krátkou písemnou zprávou, rozešle tzv. kolečkem, do kterého jsou začleněni technologové strojů, vedoucí úseků a cenaři. Každý se do písemné zprávy vyjádří. Písemná zpráva obsahuje a na základě ní je ustanoveno několik základních údajů, mezi nimiž je např. počet vyráběných kusů od položky sortimentu, dílnost formy, taktáž výroby (což je počet výrobků vyrobených za jednu minutu, aby došlo efektivnosti výroby stroje), typ stroje, na kterém dojde k případné výrobě a hmotnost výrobku. Již na základě těchto údajů se vyjádří cenové oddělení, k rentabilitě výroby.



Obr. 15 Skica výrobku Pagoda 180

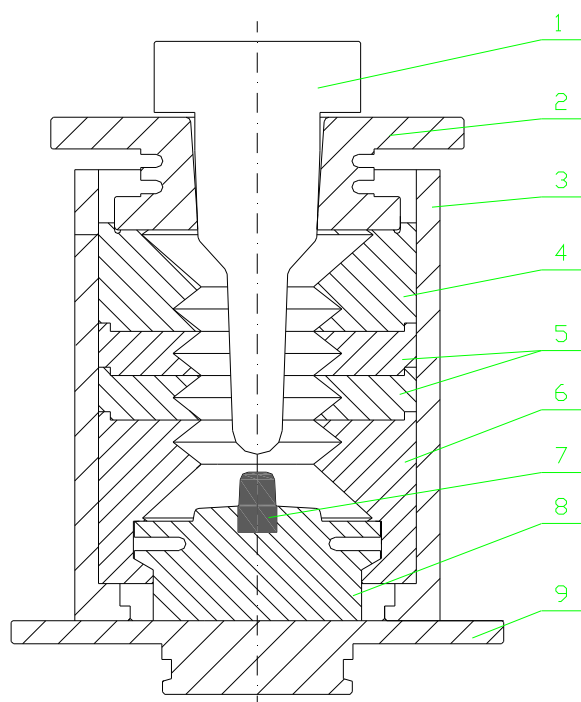
3.4. Návrh formy

Na základě údajů z předvýrobní dokumentace bylo zadáno konstrukční řešení na výrobu formy pro výrobu sortimentu svícnu velikosti 125, 150, 180.

Jelikož samotná výroba formy je finančně náročná a v případě výroby 6-ti kusů forem pro každou velikost výrobku by byla téměř nerentabilní, byla myšlenka týkající se vlastní konstrukce formy zaobírána směrem, kdy by mohla být forma složena díly z horní, dolní základny a jednotlivých pater. Následnou kombinací a kompletací dílů by došlo k postupné výrobě celkového sortimentu velikostí.

3.4.1. Konstrukce formy

Konstrukce formy byla vyřešena způsobem, kdy forma největší velikosti výrobku byla tvořena z horní a spodní základny, každá společně s jedním patrem. K oběma základnám byly následně přidány další dva díly pater obr. 16. pro sestavení a následnou výrobu celého sortimentu velikostí.



Obr. 16 Náčrtek sestavy Pagoda 180 (zvýrazněno je vsazené jádro)

1- tvárník, 2- kroužek, 3- plášť formy, 4- horní díl formy, 5- díly vkládané, 6- spodní díl formy, 7- vsazené jádro, 8- dno formy, 9- základová deska formy

Celek sesazených dílů byl vložen do univerzálního stávajícího pantového koše, který je dvoudílný. Vlastní forma pro vyjímání vylisovaného výrobku byla také rozdělena na dvě části, dělící rovina byla zvolena po vnější křivce výrobku v úhlopříčce, aby došlo po vylisování výrobku k snadnějšímu následnému zatavení

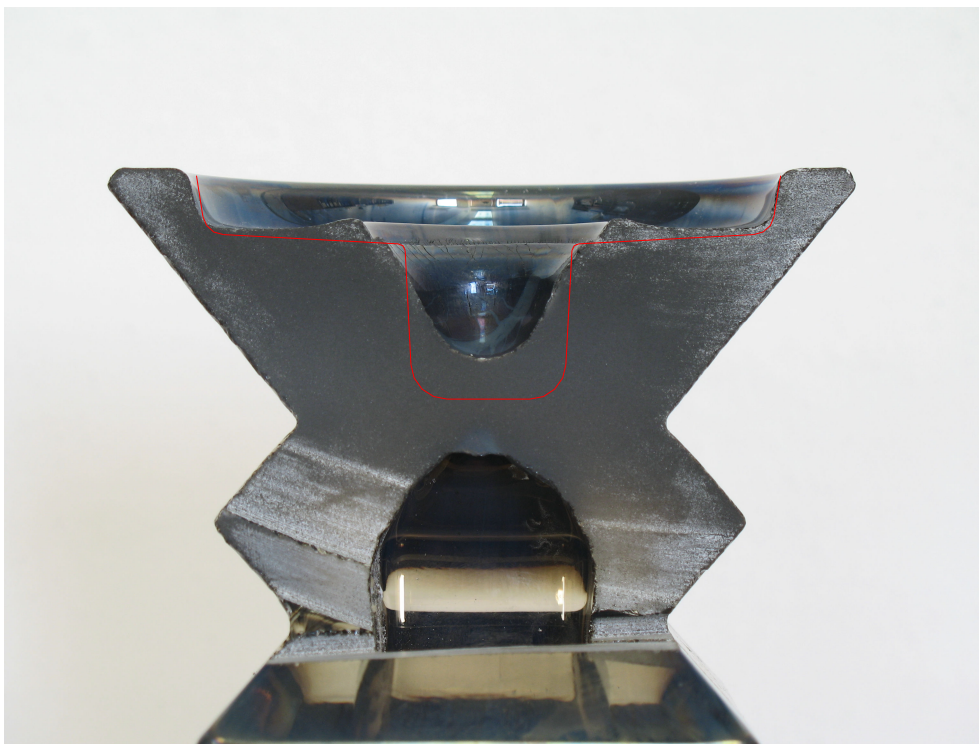
otřepu, který vznikne zalisováním taveniny do mezer vzniklých nedokonalým lícováním forem po temperaci.

Sesazené dílce formy vsazené do dvoudílného pláště, který svým čepem kolem kterého dochází k otvírání formy, byly zasazeny do základové desky formy.

Tvárník výrobku v byl vyráběn pro každou velikost sortimentu jednotlivě.

V, pro náš podnik, novém způsobu lisování byl svícen situován ve formě, tak že dutina pro svíčku byla tvořena jádrem. Jádro bylo zasazeno do dna formy. Dno formy zároveň tvarovalo osazení na výrobku pro případný odkapávající vosk ze svíčky. Dutina výrobku určená pro vložení květiny, byla tvarována tvárníkem, který působením lisovací síly stroje v ose formy a dolisováním taveniny tvaruje konečnou podobu výrobku. Vrchní okraj výrobku je tvarován kroužkem, který při procesu lisování najíždí nad formu před razníkem. Při ukončení lisování je kroužek od formy odsouván až po vyjetí tvárníku, což má za následek přidržení výrobku ve formě, nedojde tak k nechtěnému vytažení výrobku tvárníkem z formy.

3.4.2. Technologický problém při výrobě a jeho odstranění



Obr. 17 Deformované místo dutiny jádra (červeně vyznačen skutečný stav)

Při následné výrobě do zmiňované formy jsme se setkali s technologickým problémem, který spočíval v problému nedostatečného vytvarování taveniny ve spodní pasáži formy.

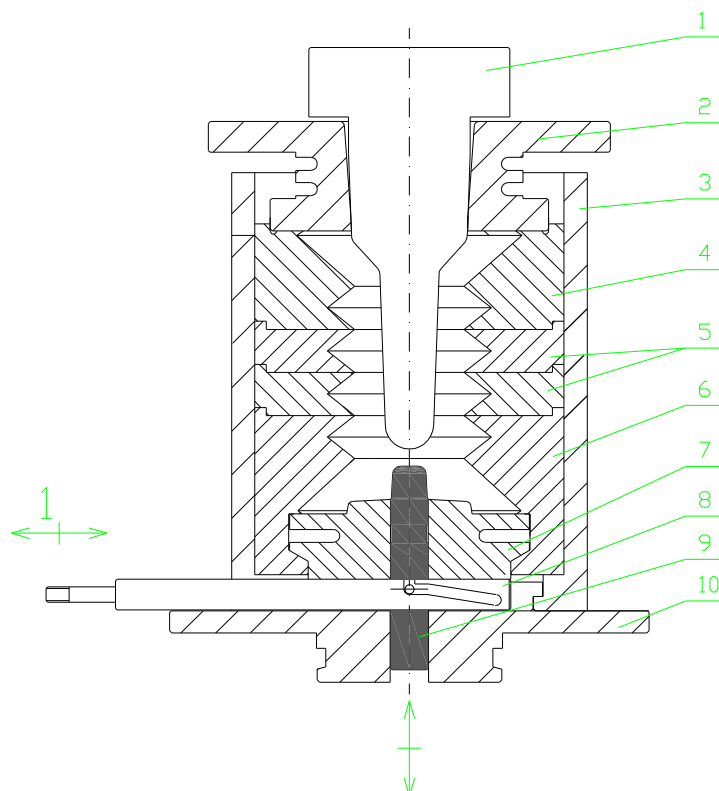
Po ukončení tvarovacího procesu a otevření dvoudílné formy docházelo při vyjímání výrobku k nalepení taveniny na jádro a tím k deformaci dutiny ve výrobku, pro umístění svíčky jak je vidět na obr. 17. Červeně je vyznačen skutečný tvar, jak by měl výrobek v problémovém místě vypadat.

K této deformaci výrobku by nedocházelo, kdyby se jednalo o výrobek pouze s dutinou pro svíčku, lisovanou v horní části tvárníkem.

Zmiňovaný problém nastával z důvodu velkého teplotního gradientu v místě dna formy, respektive jádra, kdy jádro bylo nejvíce teplotně ovlivňováno již od nadávkování skloviny/dopadu kapky.

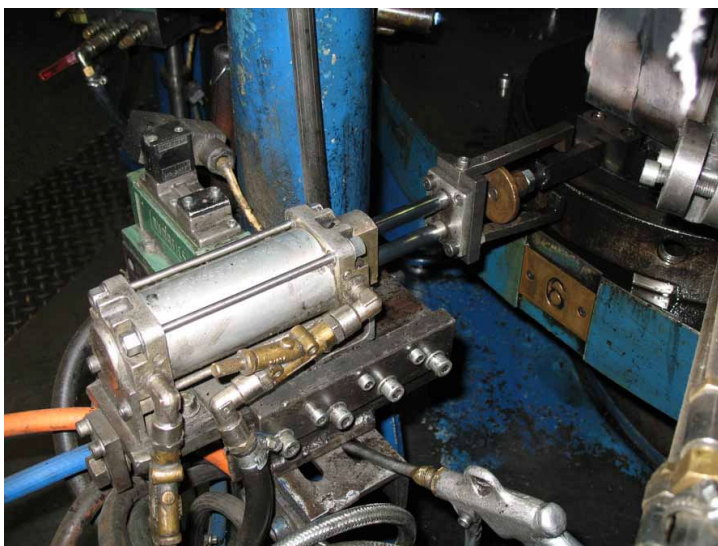
Konstrukcí stroje, formy a rozměry malého jádra ve dně formy nebylo možné při procesu lisování a tím i kontaktu jádra se sklovinou, jádro ochladit. V případě krátkodobého povrchového ochlazení jádra by mohlo docházet také k praskání povrchu výrobku na okraji dutiny.

Proto byla navržena konstrukční úprava formy, která spočívala v časovém eliminování dotyku taveniny s jádrem. A to tím, že bylo zasaženo do konstrukce formy v oblasti dna formy a jádra. Do jádra byla profrézována drážka, která sloužila k vedení táhla, zároveň otvor pro zasazení jádra do dna formy byl prohlouben skrz. Vlastní jádro bylo vyrobeno delší a také ve své spodní části profrézováno na šířku táhla. V táhlu byla vyfrézována drážka tvořící křivku, pomocí níž při sčepování táhla s jádrem a přímočarým vratným taháním za táhlo docházelo ke zvedání jádra, jak je znázorněno na obrázku 18.



Obr. 18 Náskres sestavy Pagoda 180 (zvýrazněno je jádro, posuvem táhla v bodě 1, dochází k jeho pohybu v ose.)

1- tvárník, 2- kroužek, 3- plášť formy, 4- horní díl formy, 5- díly vkládané, 6- spodní díl formy, 7- dno formy, 8- táhlo jádra, 9- jádro, 10- základová deska



Obr. 19 Snímek pneumatického válce

Vlastní lisovací stroj, byl opatřen ve dvou pozicích pneumatickým válcem s čelistí, jak je možné vidět na fotce obr. 19. Pneumatické válce s čelistmi umožňují podle nastaveného programu v počítači stroje zasouvání a vysouvání táhla a tím i zasouvání a vysouvání jádra. A to způsobem

takovým, aby v době od vylisování do vyjmutí výrobku bylo jádro nejkratší dobu v kontaktu s taveninou. Při vytáhnutí táhla a tím i vysunutí jádra dojde kuželovitostí

jádra ke vzniku mezery mezi jádrem a dnem formy, proto nesmí v tento okamžik dojít k nadávkování nebo i též k lisování taveniny. Tavenina by byla zalisována do vzniklé mezery.

Zároveň byl v pozici nad otevřenou formu, umístěn pneumatický válec opatřený trubicí s přívodem tlakového vzduchu, který jádro ochlazuje.

Tyto technologické kroky jsou nastaveny v programu stroje. Počítač svými volnými vstupy/výstupy ovládá v režimu pneumatické válce, které taháním táhel vysouvají respektive zasouvají jádro ve dně formy.

3.5. Charakteristika materiálu výrobku

Pro získání taveniny, respektive skloviny slouží míchárna surovin, kde se namíchá ze surovin vsázka, která je dopravována dle potřeby do tavicí pece v našem případě pec BM4. Vsázka je přepravována v kontejnerech ve formě směsi. Z kontejneru je vsázka rozsypána na žaluzie, které při otevření vsázku rovnoměrně rozprostřou na hladinu taveniny v tavicí peci. Působením tepla v případě pece BM4 pomocí indukce molybdenových elektrod dojde k roztavení vsázky a tím k vytvoření taveniny. Vsázka je do tavicí pece zakládána dle požadovaného odběru skloviny. Pro zmiňovanou pec, je to v takovém množství, aby celková produkce taveniny splňovala odběr 35 tun/den.

Složení taveniny je tvořeno smícháním surovin (tab. 3). Po smíchání surovin, mezi které patří písek, suřík, potaž, soda, zinková běloba, arzenik, dojde k vytvoření sloučeniny, která sama o sobě obsahuje železo. Obsah železa ve smíchaných surovinách způsobuje zabarvení skloviny do zelena. Pro odstranění zabarvení jsou do směsi přimíchány další prvky, kterými jsou např. oxid erbitý, oxid kobaltnatý, oxid nikelnatý.

Přesný poměr veškerých surovin nelze uvést, jelikož se jedná o složení receptury jenž tvoří „know how“ firmy a téměř tajemství celkového složení olovnatého křišťálu v tuzemsku.

Tab.3 Procentuelní poměr surovin ve sklovině

Obsah surovin %	Chem. vzorec	Název
60	SiO ₂	sklářský písek
24.5	PbO	suřík
12	K ₂ O	potaž
2	Na ₂ O	soda
1.6	ZnO	zinková běloba
0.3	As ₂ O ₃	Surovina arzeniku
65		střepey
+ suroviny sloužící k odbarvení skloviny		

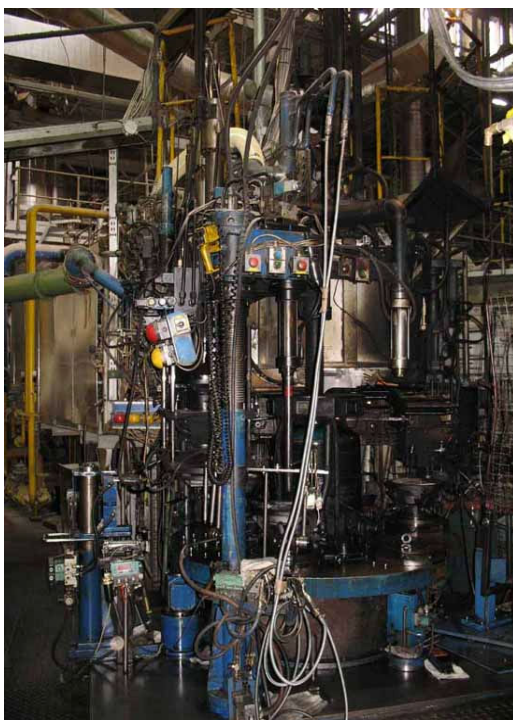
3.6. LISOVACÍ STROJ NOVA

V našem případě pro výrobu svícnu byl zvolen z důvodů ekonomičnosti a využití linek stroj ozn. NOVA od německého výrobce WALTHER. Firma WALTHER, jejíž firemní název byl několikrát přejmenován se zabývá déle než 50 let výrobou strojů převážně pro sklářský průmysl.

Lisovací stroje, které vyrábí můžeme rozdělit do dvou hlavních skupin dle konstrukce. A to na lineární pohyb stolu, kdy na lisovací stůl obdélníkového tvaru lze umístit maximálně dvě lisovací formy. Stůl se cyklicky otáčí a po lineární dráze se pohybuje pod dávkovací hlavu taveniny, ze které je v přesné váze nadávkována tavenina do formy.

Nebo otočný pohyb karuselového stolu, kdy na lisovacím otočném stole je umístěno po kružnici 12,6 nebo 3 lisovací formy dle velikosti roztečné kružnice stolu.

Lisovací stroj NOVA obr. 20 pracuje v režimu 6-ti forem, které jsou umístěny po roztečné kružnici a uchyceny do stolu rychloupínačem za základovou desku formy. Rychloupínač umožňuje přesné vystředění a rychlou výměnu formy. Celý stůl stroje je otáčen cyklickou převodovkou s motorem kolem středícího sloupu, který je umístěn v ose stolu. Středící sloup společně se sloupem, který je umístěn mimo stůl, slouží pro vedení příčníků na kterém je upevněn lisovací kroužek, který svým profilem udává tvar výrobku ve vrchní části a také uzavírá po obvodu vnitřní lisovací prostor formy. Na příčniku je také upevněn razník, který tvaruje vnitřní dutinu výrobku a dotlačuje taveninu ve formě, aby kopírovala celý povrch vnitřku formy. V případě lisování do dvoudílné pantové formy je nutné zajistit formu při lisovacím



Obr.20 Lis NOVA

procesu proti jejímu otevření k tomu slouží svěrač. Svěrač v lisovací pozici pomocí pákového mechanismu a hydraulického válce sevře v okamžiku lisování formu.

Stůl, na kterém jsou připevněny formy je umístěn pod dávkovací hlavu tak, aby tavenina v podobě nadávkované kapky ustřižené nůžkami spadla samovolně přímo do dutiny formy a pokud možno při pádu nedošlo k dotyku o stěnu formy a tím k narušení celku kapky, což by vedlo po vylisování k výrobním vadám např. v podobě bublin ve výrobku. K usměrnění dráhy dopadu kapky je možno použít naváděcí

trubky, která je vyrobena z grafitického

materiálu. Nad pracovním prostorem stolu jsou umístěny další prvky, které jsou nedílnou součástí stroje. Mezi ně patří manipulátor, respektive odnímač, který vylisovaný a částečně ochlazený výrobek z formy vyjímá.

V tabulce uvedené na následující straně jsou uvedeny základní charakteristické údaje stroje NOVA.

Tab. 4 Charakteristické údaje stroje a dávkovače taveniny

Stroj NOVA		
Počet pozic forem		6
Průměr stolu	mm	1850
Průměr roztečné kr. forem	mm	1150
Max. průměr formy	mm	350
Max. výška formy	mm	300
Lisovací síla tvárníku	kN	400
Přítlačná síla kroužku	kN	250
Typ zdvihu tvárn./kroužek		hydraulika
Dávkovač typ. Lindner		
Průměr pístu	mm	220
Průměr misky	mm	40
Min. hmotnost kapky	kg	0.2
Max. hmotnost kapky	kg	2.2
Max. otáčky pístu	min ⁻¹	50
Zdvih pístu	mm	900
Výkon topení misky	W	3000

3.7. Technologický proces tvarování

Celkový technologický proces lisování svícnu, na 6-ti pozicovém lise lze podrobně rozdělit do 12-ti operací.

Technologický proces je shrnut v následujících bodech:

- délka 1 taktu (2 pracovní operace karuselového lisu) je 27 s
- doba přesunu mezi jednotlivými pozicemi karuselového lisu je 1 s (pohyb vzad) resp. 2 s (pootočení vpřed)
- časová prodleva mezi okamžikem dopadu kapky na dno formy v 1. pozici lisu v operaci dávkování a počátkem lisování v pozici č. 3 lisu – operace lisování je 3,5
- časová prodleva mezi okamžikem konce nuceného chlazení vnitřního povrchu svícnu v pozici 4 (operace č.7) a okamžikem vyjímání výrobku z formy v pozici 6 (operace 8) je 6 s
- doba lisování je 10,5 d (doba kontaktu razníku se sklovinou), předpokládáme okamžité zalisování skloviny do formy

Pro názornost můžeme uvést, časový průběh technologického procesu tvarování do následující tabulky, ve které je uvedena prováděná operace s číselným označením pozice lisu a čísla operace. V pravé části tabulky je uveden výpočetní čas.

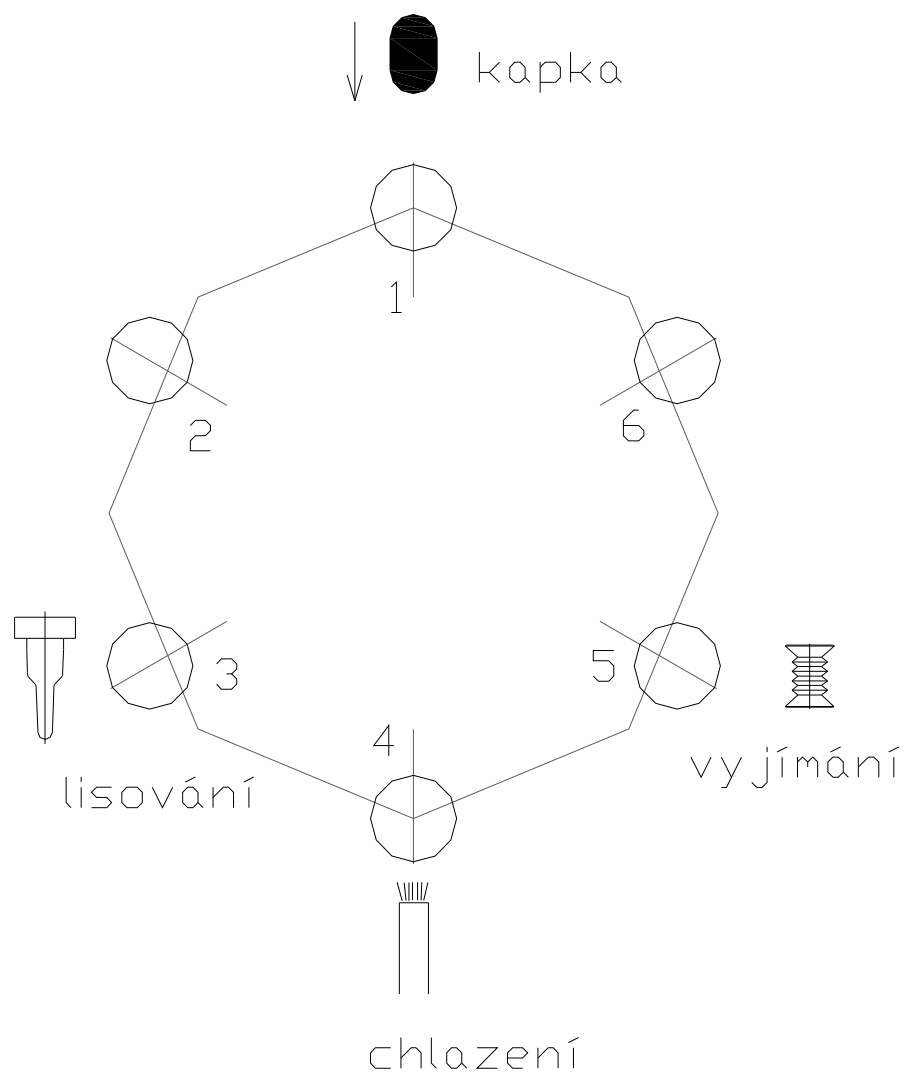
Tab.4 Popis lisovacího procesu

Časový průběh technologického procesu tvarování svícnu PAGODA 180			
Číslo operace	Operace	Pozice lisu	Výpočetní čas [s]
1	Dávkování skloviny	1	1 3,5
2	Lisování	3	4,5 7,5 14
3	Chladnutí vázy ve formě - volná konvence	2	31
4	Chladnutí vázy ve formě – nucená konvence	4	42
5	Chladnutí vázy ve formě - volná konvence	3	
6	Chladnutí vázy ve formě - volná konvence	5	71
7	Chladnutí vázy ve formě - nucená konvence	4	82
8	Chladnutí vázy ve formě - volná konvence Vyjímání výrobku z formy	6	88
9	Chladnutí povrchu sklářské formy – volná konvence	5	
10	Chladnutí povrchu sklářské formy – volná konvence	1	
11	Chladnutí povrchu sklářské formy – volná konvence	6	124
12	Chladnutí povrchu sklářské formy – volná konvence	2	
1	Chladnutí povrchu sklářské formy – volná konvence	1	162

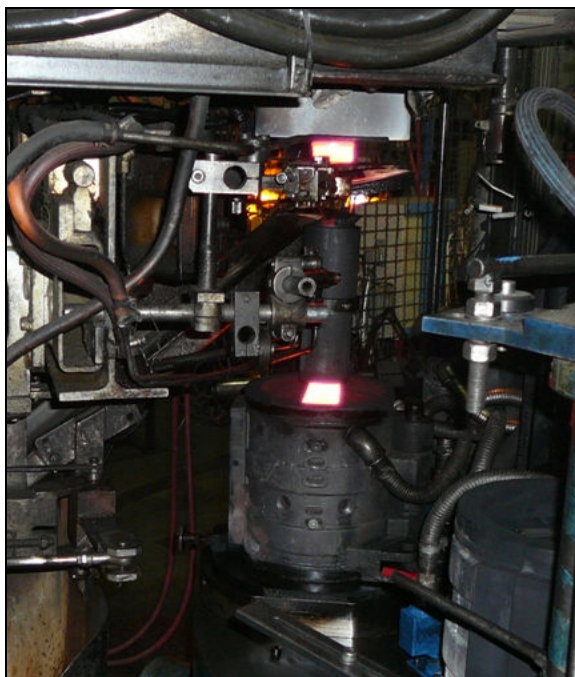
Tab.5 Tabulka nastavených technologických parametrů na stroji

SEŘIZOVACÍ LIST - NOVA	
Výrobek	Svícen-pagoda-180
Program	6PS PAGODA2007.180
Taktáž (ks/min.)	2
Váha výrobku (kg)	1.65
Váha odpadu (kg)	0.69
Odběr (kg/24h)	
Zdvih pístu min./max.	50/94.8
Otáčky pístu min./max.	-12/-4
Start dávk. hlavy (s)	25.4
Teplota tvárníku -nastavená -skutečná	350
	345-355
Teplota kroužku -nastavená -skutečná	365
	365
Lisovací čas (s)	10.5
Dráha tvárníku min./max.	319.5/90
Tlak tvárníku (bar)	45/93
Výtoková miska (průměr)	60 Pt

Celý technologický proces lisování na šestipozicovém karuselu je rozdělen na čtyři nejdůležitější části. Tyto části jsou uvedeny schématicky na obr. 21, pod kterým jsou prezentovány fotografiemi z reálné výroby.

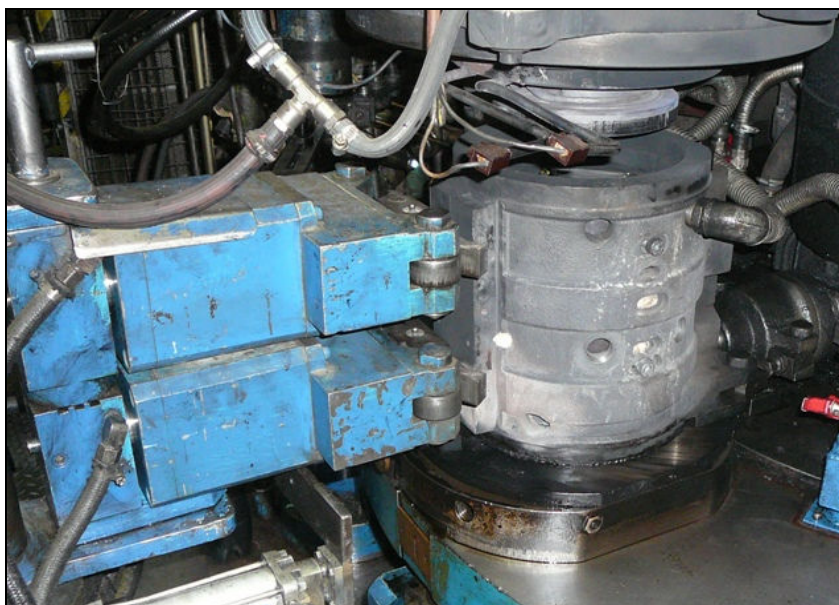


Obr.21 Schéma technologického procesu lisu



Obr.22

- 1. Dávkování taveniny do formy, kapka je usměrněna naváděcí trubicou



Obr.23

- 2. Lisování – svěrače sevřeli formu, kroužek najíždí k uzavření lisovacího prostoru



Obr.24

- 3. Chlazení formy, v této pozici dojde k otevření ventilů což umožňuje dopravu chladícího vzduchu ohebnou trubicou do prostoru mezi formu a rám formy



Obr.25

- 4. Vyjímání výrobku z otevřené formy

Na proces strojn



Obr. 26 Zapalovačka

U každé pozice stolečku je držák, na kterém jsou dle potřeby připevněny plynové hořáky, které intenzitou plamene zatavují/zalešťují nedostatky vzniklé na výrobku během lisování. Takovými nedostatky jsou nejčastěji otřepy. Otřepy vznikají tehdy, když z důvodů tepelné roztažnosti materiálu při temperaturaci forem na stroji, každý díl formy změní svůj rozměr. Mezi původně slícovanými díly vznikne v místě dělicí roviny výrobku mezera, do které je při lisování zatlačena tavenina.

Mezi oběma stoly je mechanická uchopovací hlava, která pomocí ramen obalených do teflonu založí/převrátí výrobek z první zapalovačky na zapalovačku druhou, tak aby došlo k zaleštění opačné strany výrobku.

Ze zapalovačky je výrobek zakládán zakladačem (obr. 27) na drátěný pás do Pásové chladicí pece (PCHP) k odstranění vnitřního pnutí ve výrobku, v řadách po šesti výrobcích, což je omezeno prostorovým uspořádáním, tak aby při položení výrobku na pás a rozevření uchopovacích ramen zakladače nedošlo ke shození

okolních výrobků. Veškeré zakladače/vyjímače mohou být koncipovány na základě vakuového uchopování, což se využívá např. při výrobě hladkých váz.



Obr. 27 Zakladač do PCHP

Pásová chladicí pec je v délce 25 metrů rozdělena do několika zón širokých dle šířky pásu tj. 1,7m. Zóny v první části PCHP jsou vyhřívány elektrickými topnými tělesy nebo radiačními plynovými hořáky. Zóny v druhé části PCHP jsou ve stropní části opatřeny ventilátory, které ventilací vzduchu ochlazují postupně výrobek. Na vyústění pásové chladicí pece jsou výrobky manuálně sbírány a obsluhou kontrolovány na zmetkovitost.

Teplotní temperance a rychlost pásu pásové chladicí pece je řízena dle křivky nastavené odlišně pro každý výrobek.

4. Měření teplotních polí termovizním přístrojem

Snímání teplotních polí bylo provedeno termovizní kamerou Thermacam PM 659. Snímání bylo provedeno na rozevřené formě, tvárníku a výrobku odloženém na připraveném stole. Měření bylo provedeno na již upravené formě. Zobrazením teplotních gradientu na naměřených snímcích jsme si chtěli ověřit rozložení teplotních polí na tvarovacích nástrojích a výrobku. Předpokladem bylo rovnoměrné rozložení teplotního pole po celém povrchu tvarovacího nástroje, který je ve styku s výrobkem.

4.1. Termovize Thermacam PM 659

THERMACAM PM 659 od firmy FLIR provádí zcela automatizované snímání teplotních dějů.

Pouhým klepnutím jsou zachyceny všechny potřebné informace, které jsou potřebné k poznání, měření a dokumentování termických problémů. THERMACAM PM 659 přijme jak denní, tak i umělé světlo. Uloží teplotní obrazy, data, mluvené a písemné komentáře rychle a přesně dohromady, takže je možno stanovit v nejkratším čase obsáhlou inspekci zpráv.

THERMACAM PM 659 má jeden nechlazený bolometrický mikrofón, což je číslo třetí generace, které zaručuje fungování této progresivní infrakamery a dodává vynikající jakost obrazu v širokém spektrálním rozsahu, jakož i přesné naměřené hodnoty teploty. Snímky z tohoto zařízení poskytují názorné teplotní obrazy, díky nimž lze lehce odhalit v krátké době určité potíže.

Robustní a přenosný THERMACAM PM 659 obr. 28, řeší veškeré požadavky na měření infračerveného záření a nabízí tak řešení pro následnou úpravu. Obrovskou výhodou je, že měření infračerveného záření je provedeno bez jakéhokoliv výrobního přerušení. FLIR vlastní více než 33 roků zkušenost v řešení těchto úloh.

Při měření bylo nutné nastavit na termovizi emisivitu povrchu zářiče, která se pohybuje v rozmezí 0 až 1. V našem případě bylo uskutečněno snímání teplotních polí povrchu výrobku a dílů formy, což nebyla jednoduchá záležitost, jelikož se musel brát zřetel na vliv tvaru a povrchu (dezénu) výrobku. Nastavena byla hodnota dle předcházejících zkušeností 0,8.



Obr.28 THERMACAM PM 659

4.2. Průběh měření

Jak již bylo stručně řečeno snímány byly teplotní pole formy a výlisku, odebraného ze zakladače a položeného na odkládací stolek. Snímky formy byly pořízeny po vyjmutí výlisku v následném krátkém časovém intervalu, kdy bylo zachyceno rozložení teplotních polí lisovací formy. Následně bylo přistoupeno k měření teplotních polí na výlisku a to ještě v době, kdy se výrobek pohyboval na manipulátoru. Manipulátor uchopí výrobek v době, kdy je forma otevřena. Uchopený výrobek je přemístěn manipulátorem ze stroje na stoleček zapalovačky, kde následuje operace leštění.

Teplotní pole výrobku na manipulátoru byla snímána v okamžiku, kdy byl na cestě mezi strojem a linkou zapalovačky. Závěrečná snímání byla uskutečněna na výrobku, jenž byl odebrán ze zakladače a položen na předem připravený stolek vedle stroje. Takto zhotovené snímky byly přehrány do počítače a v programu THERMACAM Report Viewer 2000 upraveny tak, aby zobrazené snímky v diplomové práci byly co možná nejnázornější a bylo si tak možno udělat představu o kompletním rozložení teplot jak na formě, tak na výrobku.

4.3. Zpracování výsledků měření

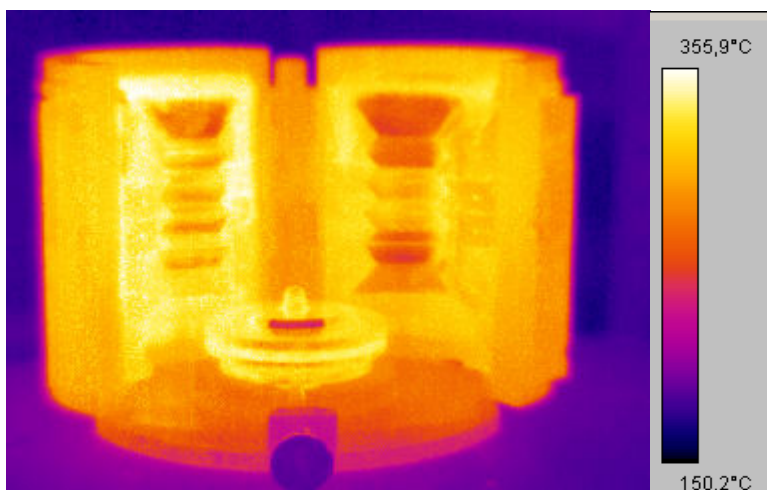
Výsledky experimentálního měření, jehož princip byl již uveden, jsou vyjádřeny snímky, na kterých je zřetelně vidět, která místa na výstřiku chladnou nejdéle a kde jsou nejvyšší hodnoty teplot. Pro představu a přehlednost jsou nejprve uvedeny fotografie, které byly pořízeny digitálním fotoaparátem. Další uvedené snímky jsou již zmiňované naměřené průběhy rozložení teplotních polí jak výrobku, tak formy.

První snímek vždy zobrazuje teplotní pole v celém jeho rozsahu tak, jak byla naměřena. Následující snímky jsou upraveny tím způsobem, že jsou znázorněny rozložení teplot s posunutou dolní hranicí o $+30^{\circ}\text{C}$ i více nežli původní. Tzn. byla-li dolní mez teploty na úvodním snímku 150°C a dolní hranice je posunuta např. o 30°C , potom následný obrázek má mez 180°C což znamená, že lze na snímcích rozeznávat pouze teploty vyšší než oněch 180°C . Takto je posouvána dolní mez až do té doby, dokud nejsou ve vyobrazení zřetelně vidět pouze nejteplejší místa. Tyto úpravy snímků byly provedeny z důvodů, aby bylo patrné, v kterých místech výrobku a formy jsou nejvyšší teploty. Postupně jsou uvedeny snímky, rozevřené formy, razníku a výrobku položeném na předem připraveném odkládacím stolku.

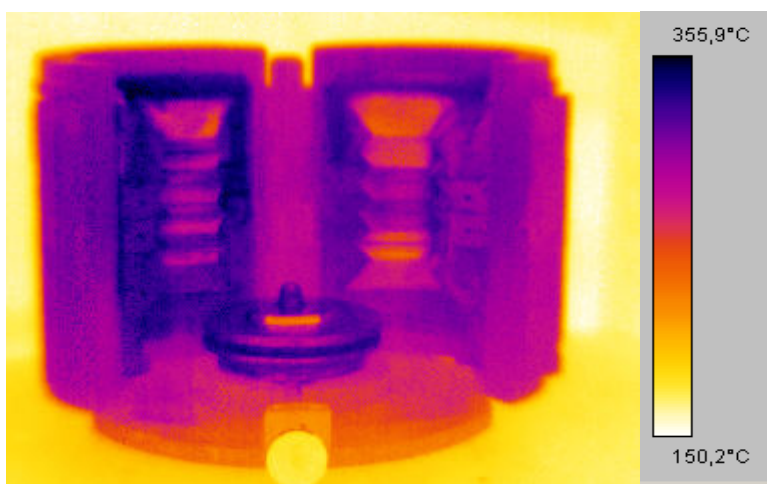
1. FORMA



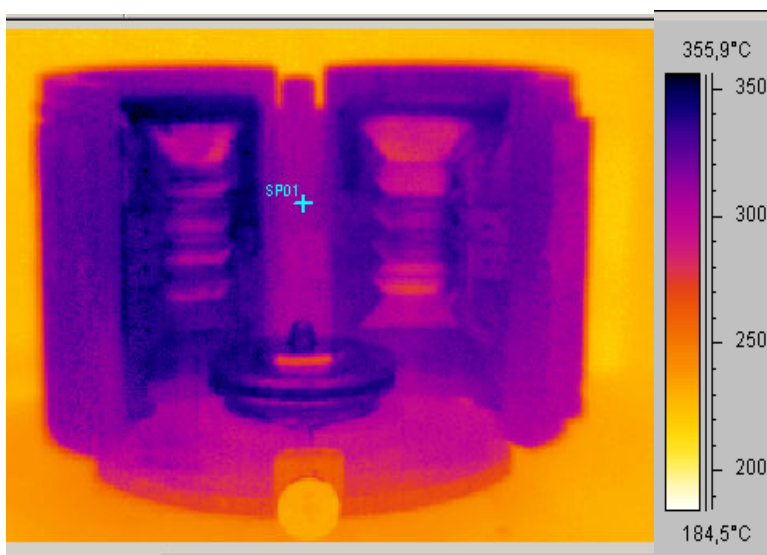
Obr.29 Pohled do rozevřené formy



A



B



C

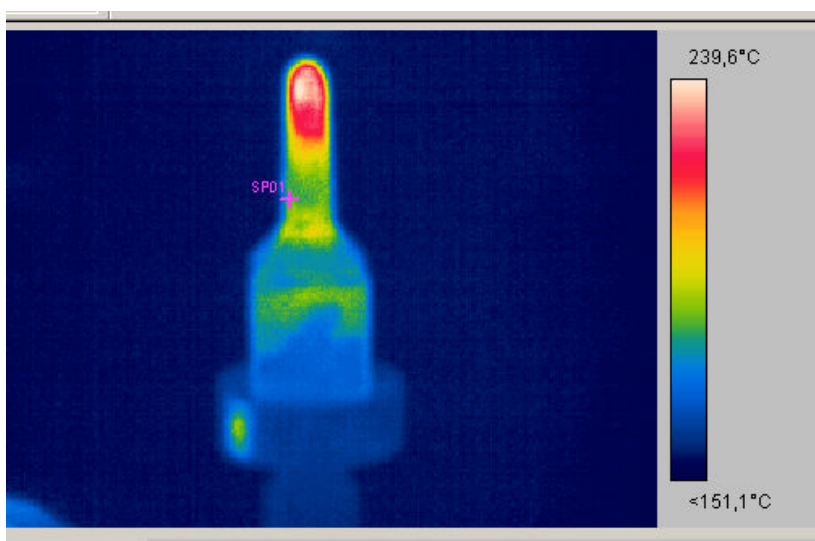
A, B - kompletní zobrazení teplotních polí

C - zobrazení teplot v rozsahu 184,5 až 355,9 °C

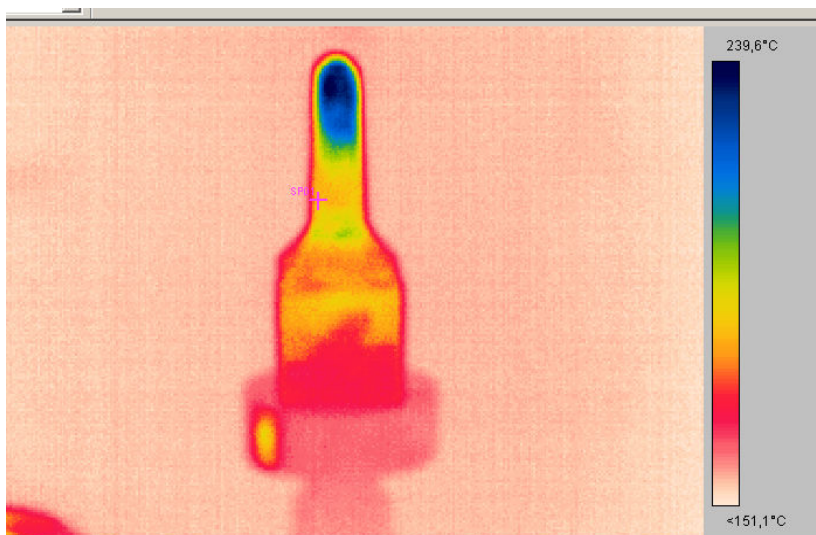
2. Tvárník



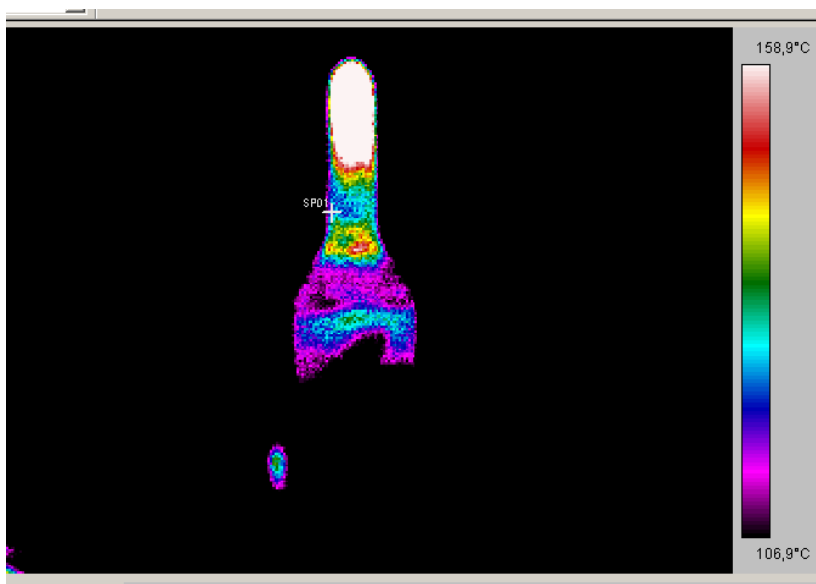
Obr.30 Pohled na tvárník



A



B



C

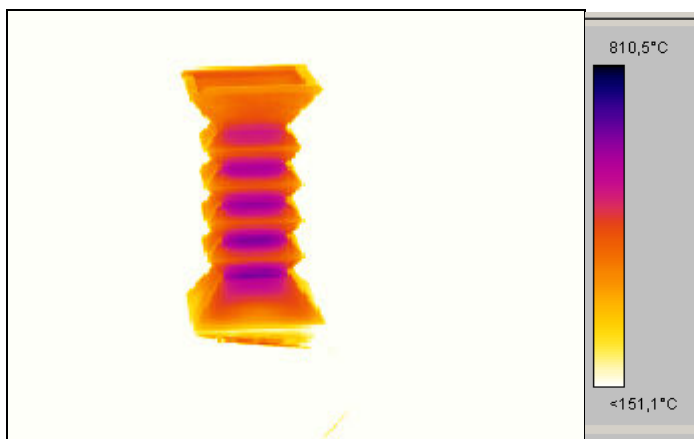
A, B - kompletní zobrazení teplotních polí

C - zobrazení teplot v rozsahu 106,9 až 158,9 °C

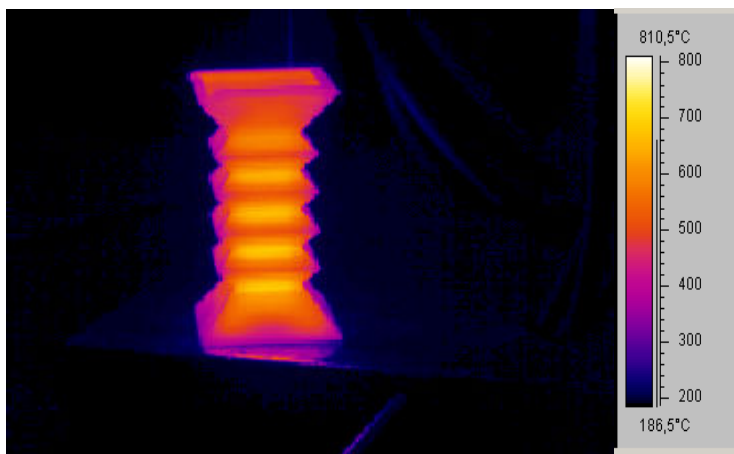
2. Výrobek



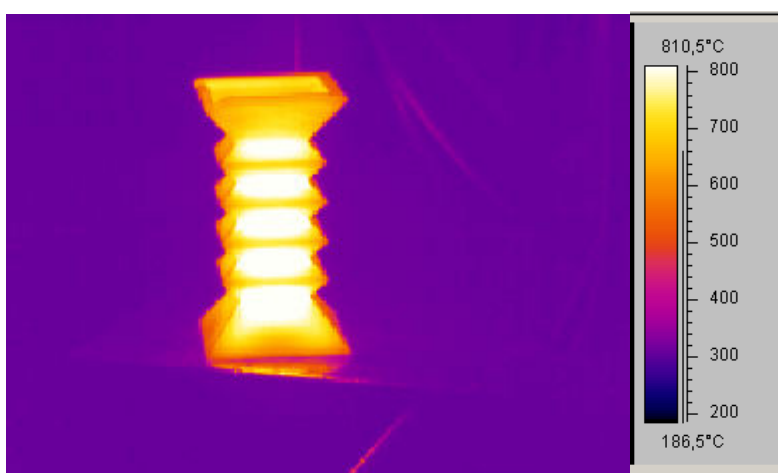
Obr.31 Pohled na výrobek



A



B



C

A, B - kompletní zobrazení teplotních polí

C - zobrazení teplot v rozsahu 186,5 až 810,5 °C

Před veškerým hodnocením naměřených hodnot, bych chtěl říci, že určité nepřesnosti naměřených hodnot povrchových teplot, které mohli vzniknout, nemají žádný vliv na vytvoření úsudku o rozložení teplot. Důležité z hlediska výroby je hlavně rozložení teplotního gradientu a znázornění nejteplejších míst.

Snímání teplotních polí formy (obr. 29), bylo prováděno při velice krátkém čase a to během zastavení kroku v cyklu lisování, respektive při vyjímání výrobku a následném ponechání formy v rozevřeném stavu. Jelikož nebylo možné z důvodu bezpečnosti a prostoru měřit termovizí uvnitř formy, nejsou snímána rozložení teplotních polí formy zachycena čelně, respektive kolmo na plochu obou polovin

formy. Snímání probíhala ze stabilně připraveného stupínku vedle stroje, tudíž naměřená teplotní pole jsou ideálně zachycena pro boční část tvárnice, ovšem pro rozvržení teplot v celém rozsahu formy jsou tyto hodnoty pouze informativní a přibližné. Je však ale možné si udělat představu, která místa jsou nejteplejší a která nejchladnější.

Nejvyšší teplota výrobku se pohybuje okolo teploty 750 °C, na výrobku je vidět, že teplotní gradient formy je symetricky rozložený, tzn. že není v některé části formy extrémně vyšší teplota, což by mohlo být způsobeno např. nerovnoměrným chlazením formy. Symetrickému uspořádání teplotního gradientu samozřejmě napomáhá osově souměrný výrobek.

U snímání teplotních polí razníku nebylo vyhověno nejideálnějším podmínkám snímání. Z bezpečnostních a technologických důvodů, kdy v pracovním procesu stroje je razník částečně zakryt kroužkem formy, kdy kroužek je temperován a jeho teplota je udržována na stálé hodnotě cca. 350°, bylo snímání teplotních polí provedeno mimo stroj tzn. po cca. 30 minutách, než došlo k jeho demontáži ze stroje.

5. Závěr

Cílem diplomové práce bylo provést technologický a konstrukční návrh nástroje pro výrobu svícnu PAGODA. Zadání diplomové práce bylo navrženo v souladu s požadavky firmy SKLO Bohemia a.s., kde byla diplomová práce také řešena. V rámci řešení diplomové práce je charakterizován vývoj výrobku od počátečního návrhu až po jeho uvedení do výroby.

S ohledem na různé tvary (výšky) výrobku svícnu PAGODA byla forma navržena jako vícedílná, kdy je možno stejnou formu využívat pro různé typy svícnu. Tento navržený způsob řešení je ekonomicky výhodnější než konstrukce a výroba více jednoúčelových forem. Podrobné řešení návrhu formy je prezentováno v diplomové práci. Na základě provedeného technologického a konstrukčního návrhu byla vyhotovena výkresová dokumentace, která sloužila jako podkladní materiál pro výrobu formy. Při nasazení nástroje do výroby se projevily určité nedostatky v konstrukci formy, kdy docházelo k nalepování taveniny na jádro umístěné ve dně formy viz. Kapitola 3.4.2. V rámci diplomové práce byl navržen způsob řešení, kdy v průběhu lisování je toto problematické jádro několikrát vysouváno pomocí pneumatického válce z prostoru formy a dochází tak k eliminaci nalepování. Při následném zkušebním provozu bylo prokázáno, že tento navržený způsob je funkční. Po realizování této úpravy, která je podrobně popsána v kapitole 3.4.2. a je též doložena výkresovou dokumentací v příloze diplomové práce, došlo ke zvýšení efektivity produktivity výroby. Změna v konstrukci formy měla za následek zvýšení počtu vyrobených kusů svícnu o 0.2 kus/min. a celkové snížení zmetkovitosti o 40% oproti původnímu návrhu konstrukce formy. Celková analýza problému a následné vyřešení je uvedeno v kapitole 3.4.2., kde je problém prezentován i pomocí fotografií.

Pro zhotovení kvalitního výrobku bez vad je důležité rozložení teplot v nástroji. Z již prakticky ověřených měření ve SKLO Bohemia a.s. vyplývá, že maximální přípustný rozdíl teplot v nástroji je 85 °C. Pokud není tato hodnota překročena, je pravděpodobné, že výrobek nebude vykazovat vady. Z výše uvedeného důvodu bylo u navrženého nástroje pro výrobu svícnu PAGODA sledováno teplotní pole. Teplotní pole bylo zjišťováno pomocí termovizní kamery THERMACAM PM 659, kterou podnik vlastním společně s TU Liberec. Snímány byly teplotní pole formy, tvárníku a výrobku. Teplotní pole formy bylo zjišťováno přímo na stole stroje v průběhu výroby. U výrobku bylo teplotní pole zjišťováno v okamžiku, kdy je výrobek vyjmut z dutiny formy. Tento okamžik je pro rozložení teplot na výrobku nejprůkaznější. Veškeré naměřené hodnoty rozložení teplotního pole byly pro

objektivní srovnání pořízeny bez jakýchkoliv změn technologických parametrů na stroji. Snímky s graficky znázorněným teplotním polem jsou součástí diplomové práce a jsou uvedeny v kapitole 4.3., kde jsou přehledně znázorněna nejstudenější a nejteplejší místa formy. Z výsledků měření rozložení teplotního pole je patrné, že teplota v nástroji je rozložena rovnoměrně a maximální teplotní rozdíly v daném časovém okamžiku nepřekračují 80 °C. Tento fakt je při lisování symetrického tvaru velmi důležitý. V případě, že by teplotní analýza nevyšla kladně, muselo by dojít k další úpravě formy nebo způsobu temperance.

Současná bezproblémová praktická výroba svícnu PAGODA prokázala, že návrh nástroje, realizovaný při řešení předkládané diplomové práce, byl proveden správně.

6. POUŽITÁ LITERATURA

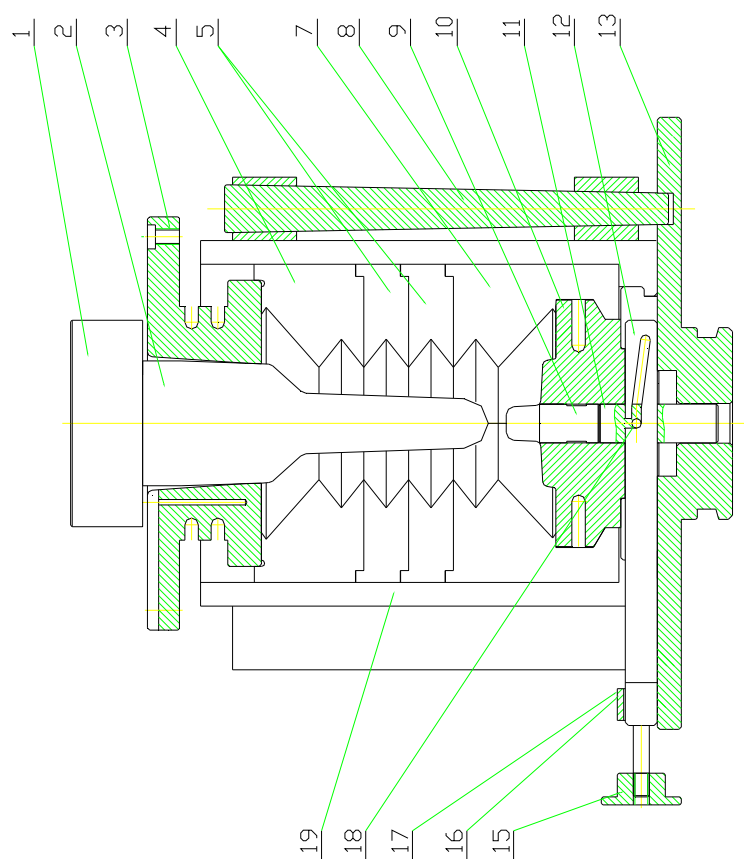
- /1/ Prospektové materiály firmy SKLO BOHEMIA a.s., 2004
- /2/ BELDA Jaroslav : Sklářské a keramické stroje TU Liberec 1994
- /3/ NOVÁ I. : Tepelné procesy ve slévárenských formách, TU Liberec 2002
- /4/ ŠESTÁK J.- RIEGER F. : Přenos hybnosti, tepla a hmoty, ČVUT, 1998
- /5/ KLEČKOVÁ M. : Nestacionární teplotní pole a napjatosti ve strojních součástech, SNTL, Praha 1979
- /6/ RUS J. : Měření teploty a teplotních polí ve vstřikovací formě, (Diplomová práce), TU Liberec 1996
- /7/ Ptáček J. : Měření teploty v průmyslu 1. a 2. část, Dům techniky Praha, 1993
- NUTIL J. - ČECH V. : Měření v hutním průmyslu, SNTL, Praha 1982

PŘÍLOHY

diplomové práce

Příloha:

Schéma technického výkresu upravené formy pro výrobu svícnu Pagoda 180



číslo	Název	Norma / Výkres	Ks
1	Příruba tvárníku	SB 04-01-01	1
2	Tvárník	TU 25-05-02	1
3	Kroužek	TU 25-05-03	1
4	Horní základní	TU 25-05-04	4
5	Výměnný díl formy	TU 25-05-05	4
6			
7	Spodní základní	TU 25-05-07	1
8	Čep	SB 04-01-01	1
9	Jadro	TU 25-05-09	1
10	Dno formy	TU 25-05-10	1
11	Nástavec jádra	TU 25-05-11	1
12	Táhlo jádra	TU 25-05-12	1
13	Základová deska	TU 25-05-13	1
14			
15	Uchopovací kolečka	TU 25-05-15	1
16	Vedení táhla	TU 25-05-16	1
17	Šroub M8x30	ČSN 02 1143	2
18	Čep nástavce 6x20	ČSN 02 2150	1
19	Univerzální koš	SB 04-01-01	2

TU Liberec

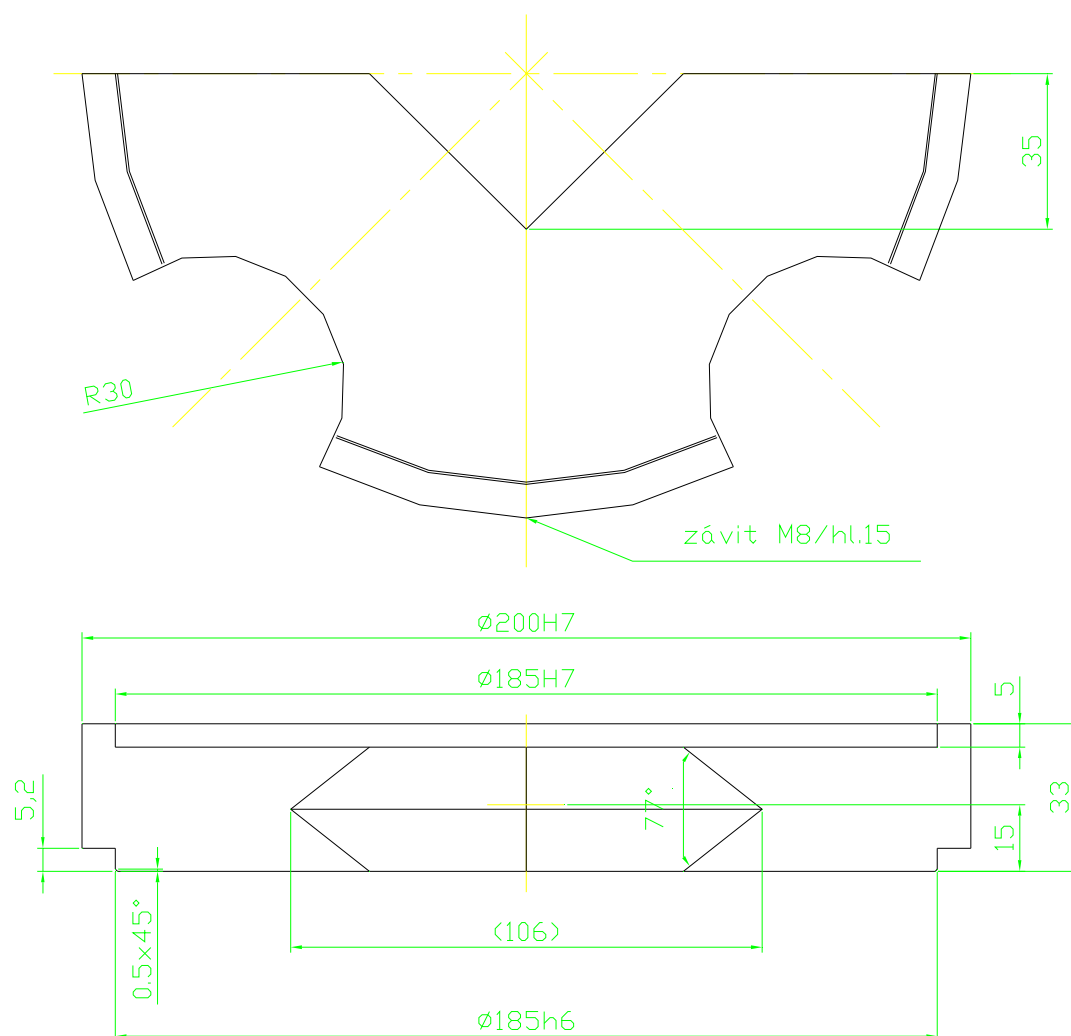
Měřítko : 1:1	Zpracoval : Ba. St. D.	Datum : 25.5.2007
Název : Pagoda 180	Kontrola :	Start výkres :
	Nový výkres :	Změna : 1/13
	Sestava	

Obr.P0 Schéma upravené formy Pagoda 180 - sestava

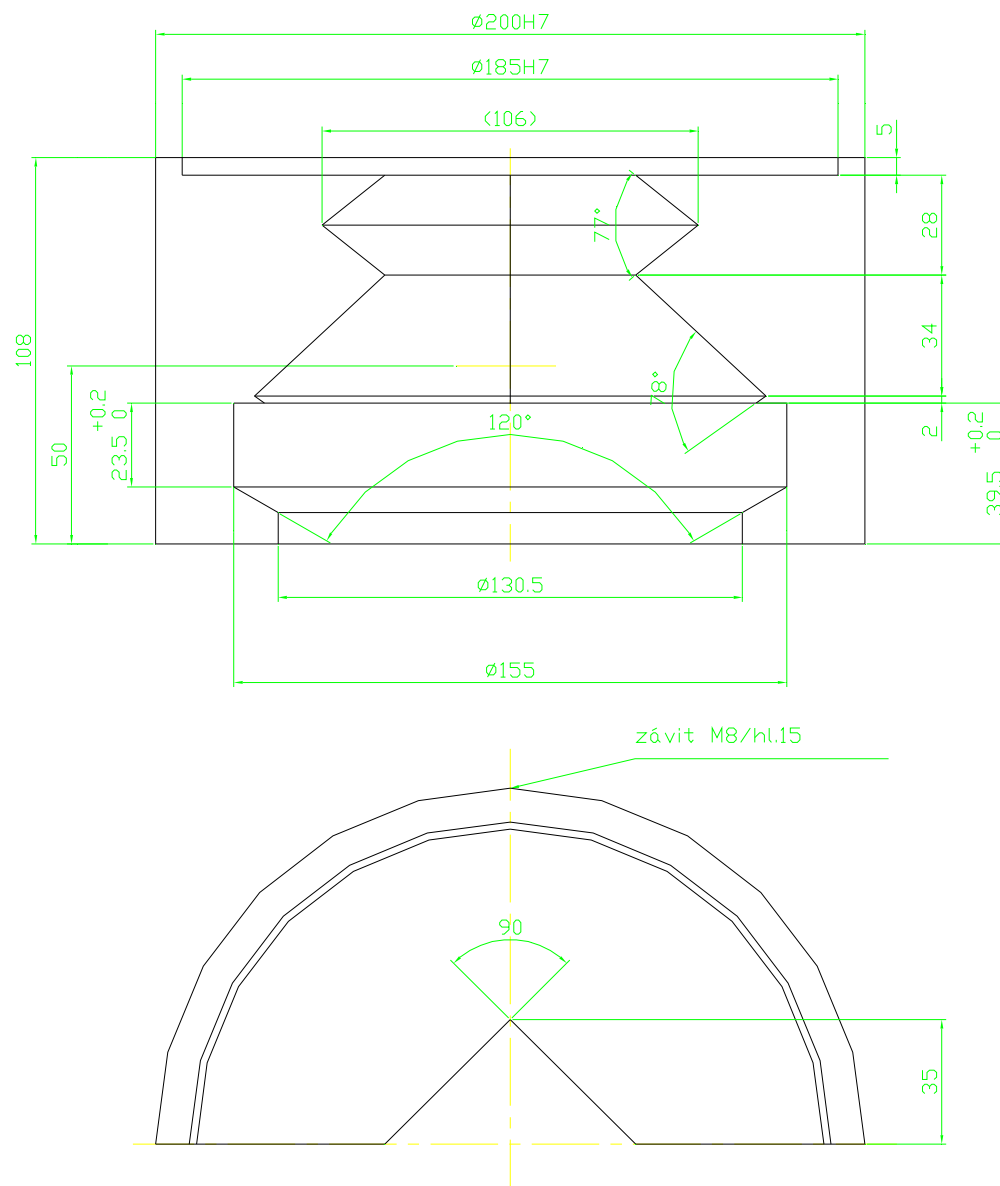




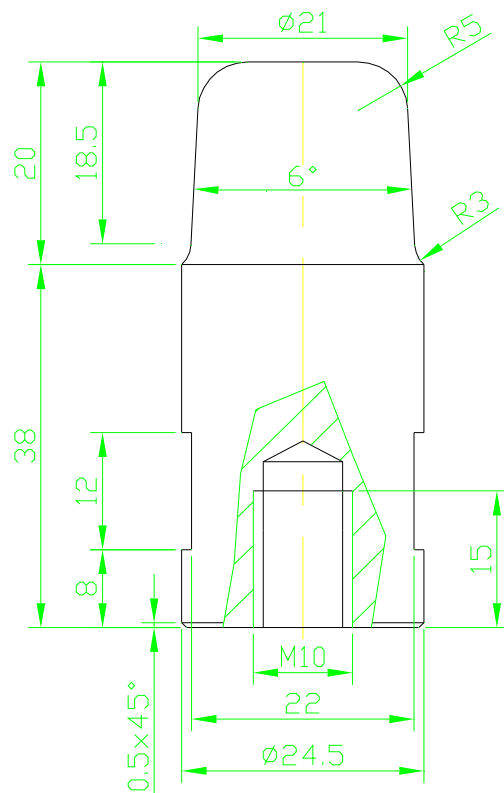




Obr.P5 Schéma upravené formy Pagoda 180 – výměnný díl formy

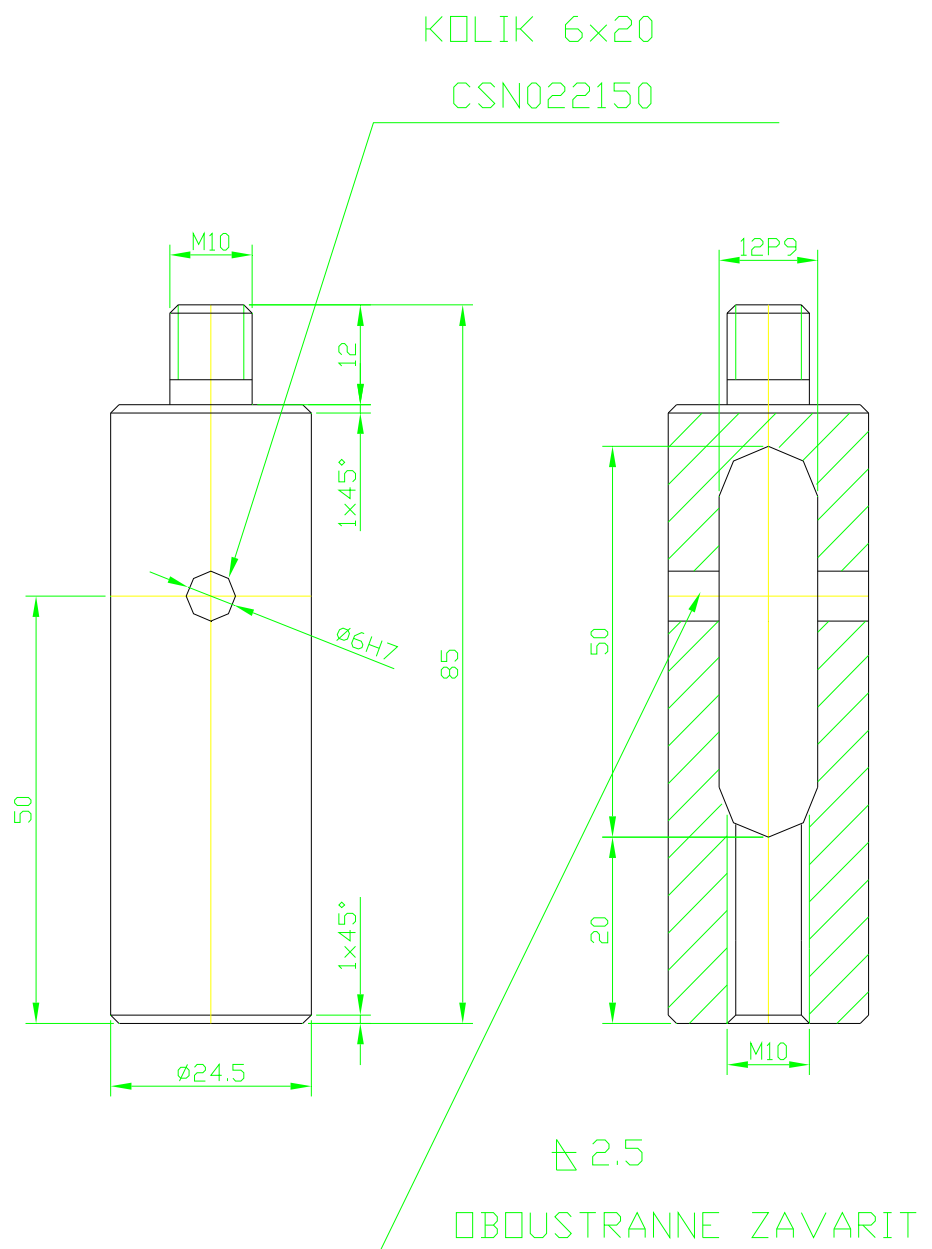


Obr.P7 Schéma upravené formy Pagoda 180 – spodní základní díl

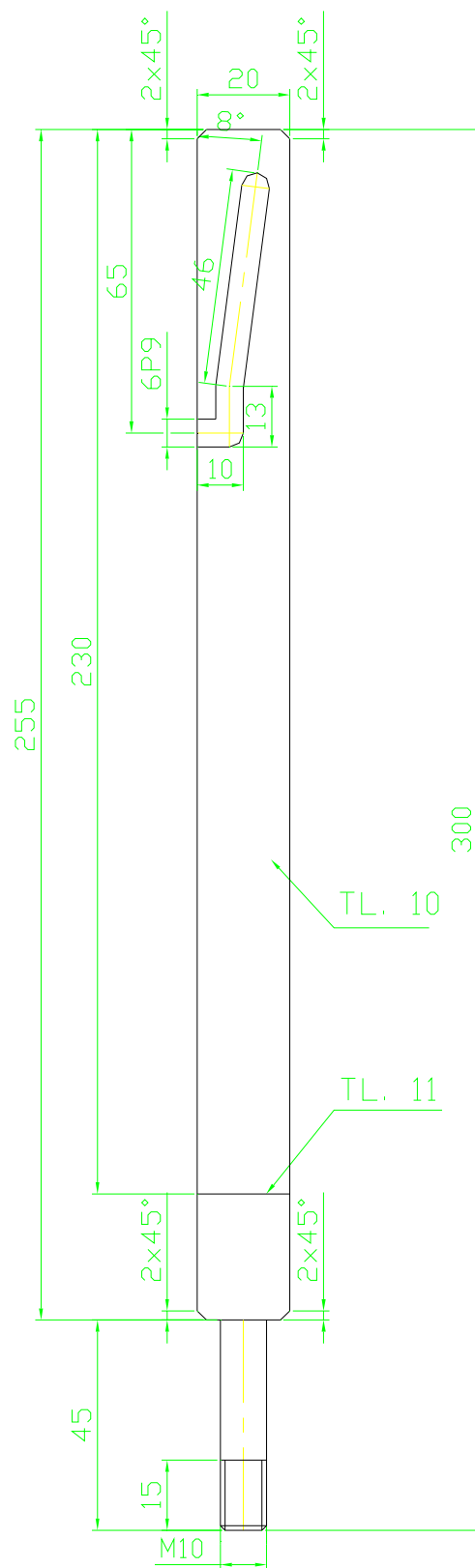


Obr.P9 Schéma upravené formy Pagoda 180 – jádro

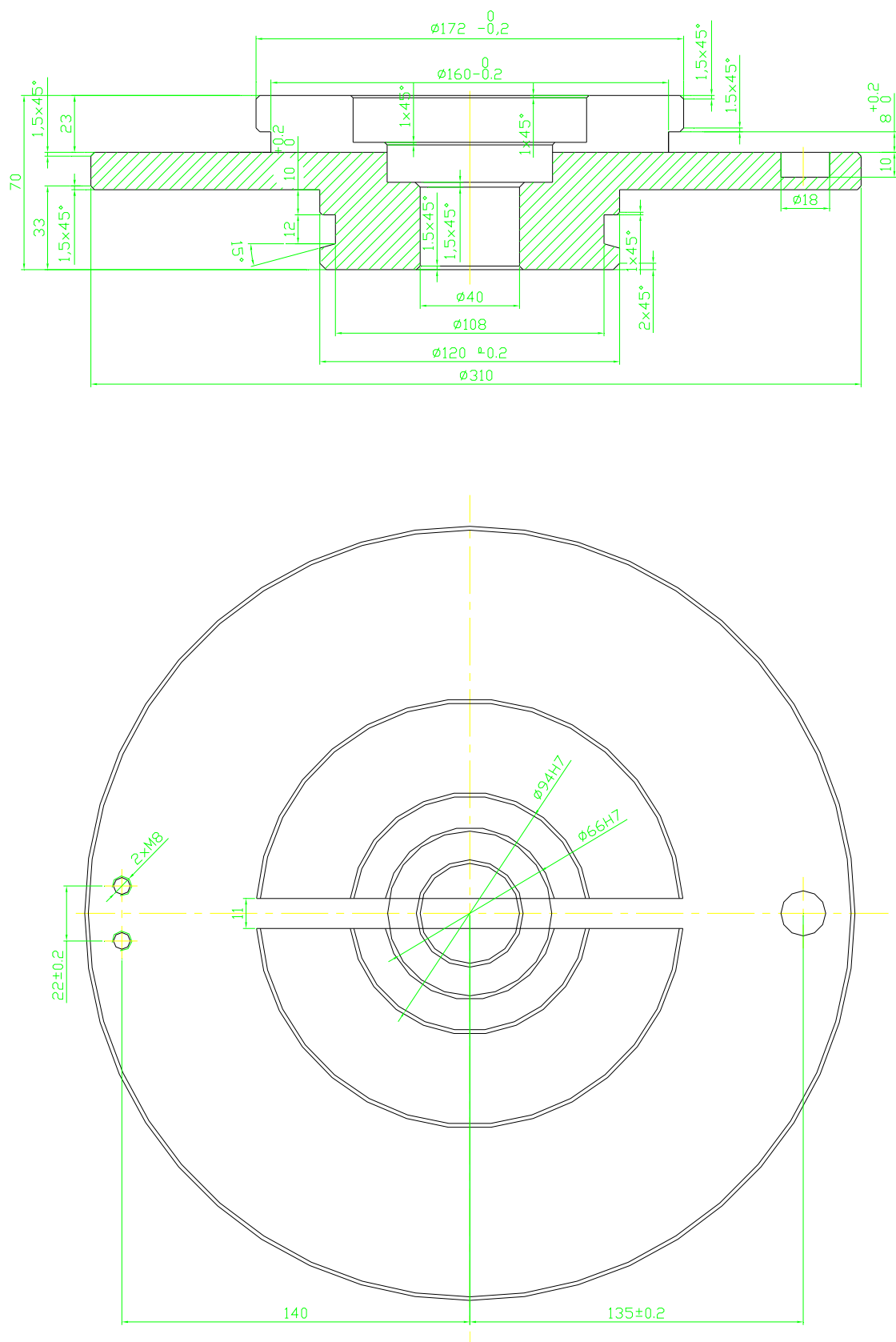




Obr.P11 Schéma upravené formy Pagoda 180 – nástavec jádra

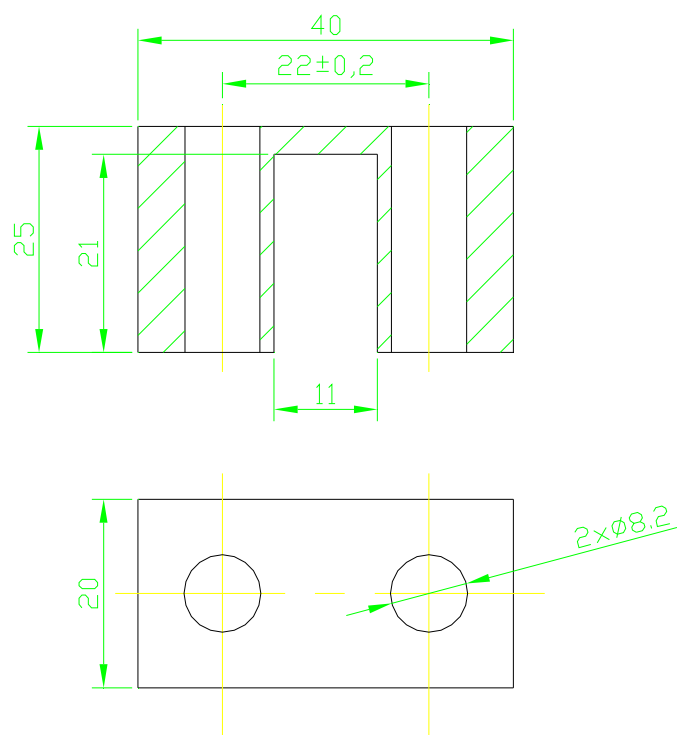


Obr.P12 Schéma upravené formy Pagoda 180 – táhlo jádra



Obr.P13 Schéma upravené formy Pagoda 180 – základová deska





Obr.P16 Schéma upravené formy Pagoda 180 – vedení táhla

Prohlášení k využívání výsledků diplomové práce:

Byl jsem seznámen s tím, že na mou diplomovou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 o právu autorském, zejména paragraf 60 (školní dílo) paragraf 35 (o nevýdělečném užití díla k vnitřní potřebě školy).

Beru na vědomí, že TUL má právo na uzavření licenční smlouvy o užití mé práce a prohlašuji, že **souhlasím** s případným užitím mé práce (prodej, zapůjčení apod.).

Jsem si vědom toho, že užít své diplomové práce či poskytnout licenci k jejímu využití mohu jen se souhlasem TUL, která má právo ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, vynaložených univerzitou na vytvoření díla (až do jejich výše).

V Liberci 25.května 2007

David Bašta

Declaration

I have been notified of the fact that Copyright Act No. 121/2000 Coll. applies to my thesis in full, in particular Section 60, School Work.

I am fully aware that the Technical University of Liberec is not interfering in my copyright by using my thesis for the internal purposes of TUL.

If I use my thesis or grant a licence for its use, I am aware of the fact that I must inform TUL of this fact; in this case TUL has the right to seek that I pay the expenses invested in the creation of my thesis to the full amount.

I compiled the thesis on my own with the use of the acknowledged sources and on the basis of consultation with the head of the thesis and a consultant.

Date: 25.5.2007

David Bašta

